

10-11

INTERNET COOPERATION TREATY

PCT

INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

(PCT Article 36 and Rule 70)

REC'D 26 APR 2001

WIPO

PCT

Applicant's or agent's file reference KN8631WO	<b>FOR FURTHER ACTION</b> See Notification of Transmittal of International Preliminary Examination Report (Form PCT/IPEA/416)	
International application No. PCT/SE00/00724	International filing date (day/month/year) 17.04.2000	Priority date (day/month/year) 30.04.1999
International Patent Classification (IPC) or national classification and IPC <sub>7</sub> H 02 K 19/38, H 02 P 9/08		
Applicant ABB AB et al		

1. This international preliminary examination report has been prepared by this International Preliminary Examining Authority and is transmitted to the applicant according to Article 36.

2. This REPORT consists of a total of 5 sheets, including this cover sheet.

☐ This report is also accompanied by ANNEXES, i.e., sheets of the description, claims and/or drawings which have been amended and are the basis for this report and/or sheets containing rectifications made before this Authority (see Rule 70.16 and Section 607 of the Administrative Instructions under the PCT).

These annexes consist of a total of \_\_\_\_\_ sheets.

3. This report contains indications relating to the following items:

- I ☒ Basis of the report
- II ☐ Priority
- III ☐ Non-establishment of opinion with regard to novelty, inventive step and industrial applicability
- IV ☐ Lack of unity of invention
- V ☒ Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement
- VI ☐ Certain documents cited
- VII ☐ Certain defects in the international application
- VIII ☐ Certain observations on the international application

Date of submission of the demand  13.11.2000	Date of completion of this report  17.04.2001
Name and mailing address of the IPEA/SE Patent- och registreringsverket Box 5055 S-102 42 STOCKHOLM Facsimile No. 08-667 72 88	Authorized officer  Antonio Farieta/MN Telephone No. 08-782 25 00

## INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

International application No.

PCT/SE00/00724

## I. Basis of the report

1. With regard to the **elements** of the international application:\*

- ☒ the international application as originally filed
- ☐ the description:  
pages \_\_\_\_\_, as originally filed  
pages \_\_\_\_\_, filed with the demand  
pages \_\_\_\_\_, filed with the letter of \_\_\_\_\_
- ☐ the claims:  
pages \_\_\_\_\_, as originally filed  
pages \_\_\_\_\_, as amended (together with any statement) under article 19  
pages \_\_\_\_\_, filed with the demand  
pages \_\_\_\_\_, filed with the letter of \_\_\_\_\_
- ☐ the drawings:  
pages \_\_\_\_\_, as originally filed  
pages \_\_\_\_\_, filed with the demand  
pages \_\_\_\_\_, filed with the letter of \_\_\_\_\_
- ☐ the sequence listing part of the description:  
pages \_\_\_\_\_, as originally filed  
pages \_\_\_\_\_, filed with the demand  
pages \_\_\_\_\_, filed with the letter of \_\_\_\_\_

2. With regard to the **language**, all the elements marked above were available or furnished to this Authority in the language in which the international application was filed, unless otherwise indicated under this item.These elements were available or furnished to this Authority in the following language English which is:

- ☐ the language of a translation furnished for the purposes of international search (under Rule 23.1(b)).
- ☒ the language of publication of the international application (under Rule 48.3(b)).
- ☐ the language of the translation furnished for the purposes of international preliminary examination (under Rules 55.2 and/or 55.3).

3. With regard to any **nucleotide and/or amino acid sequence** disclosed in the international application, the international preliminary examination was carried out on the basis of the sequence listing:

- ☐ contained in the international application in written form.
- ☐ filed together with the international application in computer readable form.
- ☐ furnished subsequently to this Authority in written form.
- ☐ furnished subsequently to this Authority in computer readable form.
- ☐ The statement that the subsequently furnished written sequence listing does not go beyond the disclosure in the international application as filed has been furnished.
- ☐ The statement that the information recorded in computer readable form is identical to the written sequence listing has been furnished.

4. ☐ The amendments have resulted in the cancellation of:

- ☐ the description, pages \_\_\_\_\_
- ☐ the claims, Nos. \_\_\_\_\_
- ☐ the drawings, sheet/fig \_\_\_\_\_

5. ☐ This report has been established as if (some of) the amendments had not been made, since they have been considered to go beyond the disclosure as filed, as indicated in the Supplemental Box (Rule 70.2 (c)).\*\*

\* Replacement sheets which have been furnished to the receiving Office in response to an invitation under Article 14 are referred to in this report as "originally filed" and are annexed to this report since they do not contain amendments (Rules 70.16 and 70.17).

\*\* Any replacement sheet containing such amendments must be referred to under item I and annexed to this report.

## INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

Intern application No.

PCT/SE00/00724

**V. Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement**

## 1. Statement

Novelty (N)	Claims	<u>1-34</u>	YES
	Claims		NO
Inventive step (IS)	Claims	<u>1-34</u>	YES
	Claims		NO
Industrial applicability (IA)	Claims	<u>1-34</u>	YES
	Claims		NO

## 2. Citations and explanations (Rule 70.7)

The claimed invention relates to a constant frequency machine with a varying/variable speed. Said machine comprises a main machine and a regulating machine with a common shaft and a converter which rotates with the shaft and is connected between the rotor windings of the main machine and the regulating machine. Said converter is arranged:

- during operation as an ac-to-ac converter and;
- during starting, controlled braking and stopping as an ac poly-phase coupler or as an ac phase/angle voltage regulator or as short circuit coupler.

The machine may function both as a generator and as a motor. In connection both the active and reactive power, which is associated with the actual operation may be controlled. During generator operation, the frequency of the voltage generated by the stator winding may be maintained constantly equal to the mains frequency at varying speed of the machine. During motor operation, the stator winding is connected to the power network. Operation with varying speed is controlled in a brushless manner by the regulating machine and the converter rotating with the shaft.

The following documents were cited in the International Search Report:

- D1) US 3671850 A
- D2) US 4625160 A
- D3) US 5742515 A
- D4) WO 9745919 A2

Document D1 discloses an electric generator control system with radio feedback loop. The embodiments include an exciting generator and a power generator. Each of the generators includes a common tubular rotor. The armature of the exciting

.../...

**Supplemental Box**

(To be used when the space in any of the preceding boxes is not sufficient)

Continuation of: V

generator is maintained within the rotor and is fed through a control rectifier to the field of the power generator, which is also maintained within the rotor. The output voltage of the power generator is sampled for modulation of a radio transmitter, which delivers power to a transmitting antenna. A receiving means maintained within the tubular rotor receives and demodulates the signal from the transmitter. The demodulated signal, together with the output of the field generator armature is applied to the control elements of the control rectifier and thus determines the intensity of the power generator field and, correspondingly, the output of the power generator. It provides a control system having relatively high response time so as to facilitate accommodation to transient and fluctuating loads.

Document D2 discloses a variable speed constant frequency electrical output generating system having power converters mounted on rotor shaft to transfer power between an exciter and a main generator. The variable frequency power from the exciter (52) is rectified (66) and supplied to a field inverter (70). At speeds below synchronous speed, the field inverter (70) is regulated by a voltage/frequency control circuit to supply field power to the field winding of the main generator at a frequency which maintains the output power of the generator at the desired frequency. At speeds above synchronous speed, the power from the field inverter (70) is rectified (68) and supplied to a motor inverter (72) to operate the exciter (52) as a motor and return power to the exciter rotor. During this time, the field inverter (70) is controlled so that voltage control at the main generator output is assured.

Document D3 discloses an asynchronous conversion method especially for a variable speed hydroelectric turbine, using water head sensor and electrical output demand for hydro-turbine unit to enable controller to regulate asynchronous rotary converter. A hydroelectric power generation system (20) feeds electrical utility system (72). A controller (42) obtains signal from water head transducer (25) and requested electrical output power from hydro-turbine (70) to regulate the speed of an asynchronous rotary converter (50) coupled to the hydro-turbine unit, and to control its gate position.

.../...



INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

International application No.

PCT/SE00/00724

**Supplemental Box**

(To be used when the space in any of the preceding boxes is not sufficient)

Continuation of: V

The controller may access an updated memory or may include a real-time automatic governor which uses the utilization system frequency to control the converter output. It facilitates the practical application of a variable speed hydro-turbine to deliver controlled power levels to a utilization system via a rotary asynchronous converter.

Document D4 relates to a rotating electrical machine for direct connection to all types of high voltages networks, in which the magnetic circuit adapted for high voltage comprises a rotor, stator and windings. The windings comprising a conductor surrounded by a solid insulation system.

The methods and/or arrangements that are disclosed in documents D1 - D4 show only the general state of the art of the claimed invention. None of these documents discloses any method or arrangement that solve the problems associated with improving the brushless control of an ac machine and/or reducing the losses and physical dimensions of the main circuits by using power electronic converters. Furthermore, none of these documents disclose any constant frequency machine with a varying/variable speed, as defined in claims 1 - 34.

Neither/nor of the cited documents D1 - D4, whether considered alone or in combination, suggest a solution according to the present invention as defined in claims 1 - 34. Therefore, it can be conclude that a man skilled in the art, being faced with the problems described above and having knowledge of the cited documents, would not know how to modify and/or improve the methods and/or arrangements so that would lead to a method and/or an apparatus, as the one claimed in the present application.

Therefore, the invention according to claims 1 - 34 is novel (N), is considered to involve an inventive step (IS) and is considered to have industrial applicability (IA).

# PATENT COOPERATION TREATY

## PCT

### INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

(PCT Article 36 and Rule 70)

Applicant's or agent's file reference KN8631WO	<b>FOR FURTHER ACTION</b> See Notification of Transmittal of International Preliminary Examination Report (Form PCT/IPEA/416)	
International application No. PCT/SE00/00724	International filing date (day/month/year) 17.04.2000	Priority date (day/month/year) 30.04.1999
International Patent Classification (IPC) or national classification and IPC <sub>7</sub> H 02 K 19/38, H 02 P 9/08		
Applicant ABB AB et al		

1. This international preliminary examination report has been prepared by this International Preliminary Examining Authority and is transmitted to the applicant according to Article 36.

2. This REPORT consists of a total of 5 sheets, including this cover sheet.

☐ This report is also accompanied by ANNEXES, i.e., sheets of the description, claims and/or drawings which have been amended and are the basis for this report and/or sheets containing rectifications made before this Authority (see Rule 70.16 and Section 607 of the Administrative Instructions under the PCT).

These annexes consist of a total of \_\_\_\_\_ sheets.

3. This report contains indications relating to the following items:

- I ☒ Basis of the report
- II ☐ Priority
- III ☐ Non-establishment of opinion with regard to novelty, inventive step and industrial applicability
- IV ☐ Lack of unity of invention
- V ☒ Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement
- VI ☐ Certain documents cited
- VII ☐ Certain defects in the international application
- VIII ☐ Certain observations on the international application

Date of submission of the demand  13.11.2000	Date of completion of this report  17.04.2001
Name and mailing address of the IPEA/SE Patent- och registreringsverket Box 5055 S-102 42 STOCKHOLM Facsimile No. 08-667 72 88	Authorized officer  Antonio Farieta/MN Telephone No. 08-782 25 00

## INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

International application No.

PCT/SE00/00724

## I. Basis of the report

1. With regard to the **elements** of the international application:\*

- ☒ the international application as originally filed
- ☐ the description:  
pages \_\_\_\_\_, as originally filed  
pages \_\_\_\_\_, filed with the demand  
pages \_\_\_\_\_, filed with the letter of \_\_\_\_\_
- ☐ the claims:  
pages \_\_\_\_\_, as originally filed  
pages \_\_\_\_\_, as amended (together with any statement) under article 19  
pages \_\_\_\_\_, filed with the demand  
pages \_\_\_\_\_, filed with the letter of \_\_\_\_\_
- ☐ the drawings:  
pages \_\_\_\_\_, as originally filed  
pages \_\_\_\_\_, filed with the demand  
pages \_\_\_\_\_, filed with the letter of \_\_\_\_\_
- ☐ the sequence listing part of the description:  
pages \_\_\_\_\_, as originally filed  
pages \_\_\_\_\_, filed with the demand  
pages \_\_\_\_\_, filed with the letter of \_\_\_\_\_

2. With regard to the **language**, all the elements marked above were available or furnished to this Authority in the language in which the international application was filed, unless otherwise indicated under this item.These elements were available or furnished to this Authority in the following language English which is:

- ☐ the language of a translation furnished for the purposes of international search (under Rule 23.1(b)).
- ☒ the language of publication of the international application (under Rule 48.3(b)).
- ☐ the language of the translation furnished for the purposes of international preliminary examination (under Rules 55.2 and/or 55.3).

3. With regard to any **nucleotide and/or amino acid sequence** disclosed in the international application, the international preliminary examination was carried out on the basis of the sequence listing:

- ☐ contained in the international application in written form.
- ☐ filed together with the international application in computer readable form.
- ☐ furnished subsequently to this Authority in written form.
- ☐ furnished subsequently to this Authority in computer readable form.
- ☐ The statement that the subsequently furnished written sequence listing does not go beyond the disclosure in the international application as filed has been furnished.
- ☐ The statement that the information recorded in computer readable form is identical to the written sequence listing has been furnished.

4. ☐ The amendments have resulted in the cancellation of:

- ☐ the description, pages \_\_\_\_\_
- ☐ the claims, Nos. \_\_\_\_\_
- ☐ the drawings, sheet/fig \_\_\_\_\_

5. ☐ This report has been established as if (some of) the amendments had not been made, since they have been considered to go beyond the disclosure as filed, as indicated in the Supplemental Box (Rule 70.2 (c)).\*\*

\* Replacement sheets which have been furnished to the receiving Office in response to an invitation under Article 14 are referred to in this report as "originally filed" and are annexed to this report since they do not contain amendments (Rules 70.16 and 70.17).

\*\* Any replacement sheet containing such amendments must be referred to under item 1 and annexed to this report.

## INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

International application No.

PCT/SE00/00724

**V. Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement**

## 1. Statement

Novelty (N)	Claims	<u>1-34</u>	YES
	Claims		NO
Inventive step (IS)	Claims	<u>1-34</u>	YES
	Claims		NO
Industrial applicability (IA)	Claims	<u>1-34</u>	YES
	Claims		NO

## 2. Citations and explanations (Rule 70.7)

The claimed invention relates to a constant frequency machine with a varying/variable speed. Said machine comprises a main machine and a regulating machine with a common shaft and a converter which rotates with the shaft and is connected between the rotor windings of the main machine and the regulating machine. Said converter is arranged:

- during operation as an ac-to-ac converter and;
- during starting, controlled braking and stopping as an ac poly-phase coupler or as an ac phase/angle voltage regulator or as short circuit coupler.

The machine may function both as a generator and as a motor. In connection both the active and reactive power, which is associated with the actual operation may be controlled. During generator operation, the frequency of the voltage generated by the stator winding may be maintained constantly equal to the mains frequency at varying speed of the machine. During motor operation, the stator winding is connected to the power network. Operation with varying speed is controlled in a brushless manner by the regulating machine and the converter rotating with the shaft.

The following documents were cited in the International Search Report:

D1) US 3671850 A  
D2) US 4625160 A  
D3) US 5742515 A  
D4) WO 9745919 A2

Document D1 discloses an electric generator control system with radio feedback loop. The embodiments include an exciting generator and a power generator. Each of the generators includes a common tubular rotor. The armature of the exciting

.../...

**Supplemental Box**

(To be used when the space in any of the preceding boxes is not sufficient)

Continuation of: V

generator is maintained within the rotor and is fed through a control rectifier to the field of the power generator, which is also maintained within the rotor. The output voltage of the power generator is sampled for modulation of a radio transmitter, which delivers power to a transmitting antenna. A receiving means maintained within the tubular rotor receives and demodulates the signal from the transmitter. The demodulated signal, together with the output of the field generator armature is applied to the control elements of the control rectifier and thus determines the intensity of the power generator field and, correspondingly, the output of the power generator. It provides a control system having relatively high response time so as to facilitate accommodation to transient and fluctuating loads.

Document D2 discloses a variable speed constant frequency electrical output generating system having power converters mounted on rotor shaft to transfer power between an exciter and a main generator. The variable frequency power from the exciter (52) is rectified (66) and supplied to a field inverter (70). At speeds below synchronous speed, the field inverter (70) is regulated by a voltage/frequency control circuit to supply field power to the field winding of the main generator at a frequency which maintains the output power of the generator at the desired frequency. At speeds above synchronous speed, the power from the field inverter (70) is rectified (68) and supplied to a motor inverter (72) to operate the exciter (52) as a motor and return power to the exciter rotor. During this time, the field inverter (70) is controlled so that voltage control at the main generator output is assured.

Document D3 discloses an asynchronous conversion method especially for a variable speed hydroelectric turbine, using water head sensor and electrical output demand for hydro-turbine unit to enable controller to regulate asynchronous rotary converter. A hydroelectric power generation system (20) feeds electrical utility system (72). A controller (42) obtains signal from water head transducer (25) and requested electrical output power from hydro-turbine (70) to regulate the speed of an asynchronous rotary converter (50) coupled to the hydro-turbine unit, and to control its gate position.

.../...

## INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

International application No.

PCT/SE00/00724

**Supplemental Box**

(To be used when the space in any of the preceding boxes is not sufficient)

Continuation of: V

The controller may access an updated memory or may include a real-time automatic governor which uses the utilization system frequency to control the converter output. It facilitates the practical application of a variable speed hydro-turbine to deliver controlled power levels to a utilization system via a rotary asynchronous converter.

Document D4 relates to a rotating electrical machine for direct connection to all types of high voltages networks, in which the magnetic circuit adapted for high voltage comprises a rotor, stator and windings. The windings comprising a conductor surrounded by a solid insulation system.

The methods and/or arrangements that are disclosed in documents D1 - D4 show only the general state of the art of the claimed invention. None of these documents discloses any method or arrangement that solve the problems associated with improving the brushless control of an ac machine and/or reducing the losses and physical dimensions of the main circuits by using power electronic converters. Furthermore, none of these documents disclose any constant frequency machine with a varying/variable speed, as defined in claims 1 - 34.

Neither/nor of the cited documents D1 - D4, whether considered alone or in combination, suggest a solution according to the present invention as defined in claims 1 - 34. Therefore, it can be conclude that a man skilled in the art, being faced with the problems described above and having knowledge of the cited documents, would not know how to modify and/or improve the methods and/or arrangements so that would lead to a method and/or an apparatus, as the one claimed in the present application.

Therefore, the invention according to claims 1 - 34 is novel (N), is considered to involve an inventive step (IS) and is considered to have industrial applicability (IA).

PCT



INTELLECTUAL PROPERTY ORGANIZATION  
International Bureau



INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

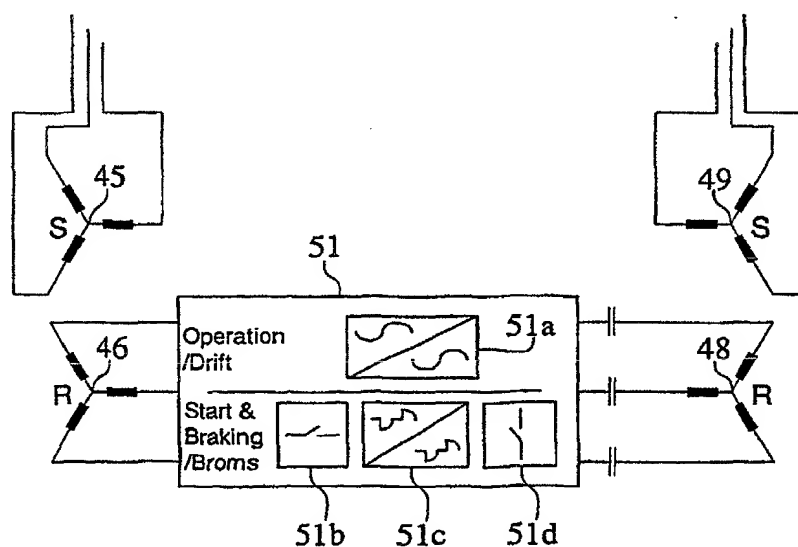
(51) International Patent Classification 7 : H02K 19/38, H02P 9/08	A1	(11) International Publication Number: WO 00/67363
		(43) International Publication Date: 9 November 2000 (09.11.00)

(21) International Application Number: PCT/SE00/00724  
(22) International Filing Date: 17 April 2000 (17.04.00)  
(30) Priority Data:  
9901553-9 30 April 1999 (30.04.99) SE  
(71) Applicant (for all designated States except US): ABB AB  
[SE/SE]; S-721 83 Västerås (SE).  
(72) Inventor; and  
(75) Inventor/Applicant (for US only): GERTMAR, Lars [SE/SE];  
Humlegatan 6, S-722 26 Västerås (SE).  
(74) Agents: LARSON, Håkan et al.; ABB AB, Patentsbergsgatan  
2, Gideonsbergsgatan 2, Tegnérområdet, S-721 78 Västerås  
(SE).

(81) Designated States: AE, AG, AL, AM, AT, AT (Utility model),  
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CR, CU,  
CZ, CZ (Utility model), DE, DE (Utility model), DK, DK  
(Utility model), DM, DZ, EE (Utility model), ES, FI, FI  
(Utility model), GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL,  
IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT,  
LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL,  
PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SK (Utility model), SL,  
TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW,  
ARIPO patent (GH, GM, KE, LS, MW, SD, SL, SZ, TZ,  
UG, ZW), Eurasian patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD,  
RU, TJ, TM), European patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK,  
ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI  
patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR,  
NE, SN, TD, TG).

**Published**  
With international search report.  
In English translation (filed in Swedish).

(54) Title: A CONSTANT-FREQUENCY MACHINE WITH A VARYING/VARIABLE SPEED



(57) Abstract

A constant-frequency machine with a varying/variable speed which comprises a main machine (1) and a regulating machine with a com on shaft (2) and a converter (28, 51) which rotates with the shaft and is connected between the rotor windings (3, 29) of the main machine and the regulating machine, and wherein the converter, during operation, is arranged as an ac-to-ac converter, and wherein, during starting, it is arranged as an ac polyphase coupler or as an ac phase-angle/voltage regulator or as an ac short-circuit coupler, and wherein, during controlled braking and stopping, it is arranged as an ac polyphase coupler, or as an ac phase-angle/voltage regulator, or as an ac short-circuit coupler.

**FOR THE PURPOSES OF INFORMATION ONLY**

Codes used to identify States party to the PCT on the front pages of pamphlets publishing international applications under the PCT.

AL	Albania	ES	Spain	LS	Lesotho	SI	Slovenia
AM	Armenia	FI	Finland	LT	Lithuania	SK	Slovakia
AT	Austria	FR	France	LU	Luxembourg	SN	Senegal
AU	Australia	GA	Gabon	LV	Latvia	SZ	Swaziland
AZ	Azerbaijan	GB	United Kingdom	MC	Monaco	TD	Chad
BA	Bosnia and Herzegovina	GE	Georgia	MD	Republic of Moldova	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagascar	TJ	Tajikistan
BE	Belgium	GN	Guinea	MK	The former Yugoslav Republic of Macedonia	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Greece	ML	Mali	TR	Turkey
BG	Bulgaria	HU	Hungary	MN	Mongolia	TT	Trinidad and Tobago
BJ	Benin	IE	Ireland	MR	Mauritania	UA	Ukraine
BR	Brazil	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Iceland	MX	Mexico	US	United States of America
CA	Canada	IT	Italy	NE	Niger	UZ	Uzbekistan
CF	Central African Republic	JP	Japan	NL	Netherlands	VN	Viet Nam
CG	Congo	KE	Kenya	NO	Norway	YU	Yugoslavia
CH	Switzerland	KG	Kyrgyzstan	NZ	New Zealand	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Democratic People's Republic of Korea	PL	Poland		
CM	Cameroon	KR	Republic of Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kazakhstan	RO	Romania		
CU	Cuba	LC	Saint Lucia	RU	Russian Federation		
CZ	Czech Republic	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Germany	LK	Sri Lanka	SE	Sweden		
DK	Denmark	LR	Liberia	SG	Singapore		
EE	Estonia						



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/SE 00/00724

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 9745919 A2 (ASEA BROWN BOVERI AB), 4 December 1997 (04.12.97), page 9, line 33 - page 17, line 34  -- -----	1-34

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

02/12/99

International application No.

PCT/SE 00/00724

Patent document cited in search report			Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US	3671850	A	20/06/72	NONE	
US	4625160	A	25/11/86	EP 0207155 A IL 77021 D JP 62501188 T WO 8603907 A	07/01/87 00/00/00 07/05/87 03/07/86
US	5742515	A	21/04/98	BR 9607151 A CA 2174569 A CN 1166867 A EP 0739087 A EP 0800616 A FR 2741116 A FR 2755547 A JP 9019193 A WO 9716627 A CA 2170686 A CA 2174568 A EP 0740387 A EP 0749190 A JP 9023587 A JP 9023651 A US 5841267 A US 5952816 A US 5953225 A WO 9812797 A	11/11/97 22/10/96 03/12/97 23/10/96 15/10/97 16/05/97 07/05/98 17/01/97 09/05/97 22/10/96 22/10/96 30/10/96 18/12/96 21/01/97 21/01/97 24/11/98 14/09/99 14/09/99 26/03/98

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
Information on patent family members

02/12/99 .

International application No.

PCT/SE 00/00724

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 9745919 A2	04/12/97	AP 9801398 D	00/00/00
		AP 9801404 D	00/00/00
		AP 9801408 D	00/00/00
		AP 9801409 D	00/00/00
		AU 2987397 A	05/01/98
		AU 2987597 A	05/01/98
		AU 2987997 A	05/01/98
		AU 2988097 A	05/01/98
		AU 2988197 A	05/01/98
		AU 2988297 A	05/01/98
		AU 2988397 A	05/01/98
		AU 2988497 A	05/01/98
		AU 2988597 A	05/01/98
		AU 2988697 A	05/01/98
		AU 2988797 A	05/01/98
		AU 2988897 A	05/01/98
		AU 2988997 A	05/01/98
		AU 2989097 A	05/01/98
		AU 2989197 A	05/01/98
		AU 2989297 A	05/01/98
		AU 2989397 A	05/01/98
		AU 2989497 A	05/01/98
		AU 3052197 A	05/01/98
		AU 3052297 A	05/01/98
		AU 3052397 A	05/01/98
		AU 3052597 A	05/01/98
		AU 3052697 A	05/01/98
		AU 3052797 A	05/01/98
		AU 3052897 A	05/01/98
		AU 3052997 A	05/01/98
		AU 3053097 A	05/01/98
		AU 3053197 A	05/01/98
		AU 3053297 A	05/01/98
		AU 3053397 A	05/01/98
		AU 3053497 A	05/01/98
		BG 102926 A	30/06/99
		BG 102944 A	30/07/99
		BG 102964 A	31/05/99
		BG 103009 A	30/06/99
		CA 2255720 A	04/12/97
		CA 2255724 A	04/12/97
		CA 2255725 A	04/12/97
		CA 2255735 A	04/12/97
		CA 2255737 A	04/12/97
		CA 2255738 A	04/12/97
		CA 2255739 A	04/12/97
		CA 2255740 A	04/12/97
		CA 2255744 A	04/12/97
		CA 2255745 A	04/12/97
		CA 2255768 A	04/12/97
		CA 2255769 A	04/12/97
		CA 2255770 A	04/12/97
		CA 2255772 A	04/12/97
		CN 1219911 A	16/06/99
		CN 1220026 A	16/06/99

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
Information on patent family members

International application No.

02/12/99

PCT/SE 00/00724

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 9745919 A2	04/12/97	CN 1220036 A	16/06/99
		CN 1220037 A	16/06/99
		CN 1220039 A	16/06/99
		CN 1220040 A	16/06/99
		CN 1220041 A	16/06/99
		CN 1220042 A	16/06/99
		CN 1220043 A	16/06/99
		CN 1220044 A	16/06/99
		CN 1220045 A	16/06/99
		CN 1220046 A	16/06/99
		CN 1220047 A	16/06/99
		CN 1220048 A	16/06/99
		CN 1220049 A	16/06/99
		CN 1220050 A	16/06/99
		CN 1220051 A	16/06/99
		CN 1225743 A	11/08/99
		CN 1225753 A	11/08/99
		CN 1225755 A	11/08/99
		CN 1226347 A	18/08/99
		CN 1226348 A	18/08/99
		CZ 9803857 A	12/05/99
		CZ 9803858 A	12/05/99
		CZ 9803859 A	16/06/99
		CZ 9803860 A	16/06/99
		CZ 9803868 A	17/02/99
		CZ 9803879 A	17/02/99
		CZ 9803881 A	17/03/99
		CZ 9803882 A	17/02/99
		DE 19781783 T	12/05/99
		DE 19781786 T	30/09/99
		DE 19781791 T	27/05/99
		DE 29780444 U	20/05/99
		DE 29780445 U	26/08/99
		EP 0888627 A	07/01/99
		EP 0888628 A	07/01/99
		EP 0888661 A	07/01/99
		EP 0888662 A	07/01/99
		EP 0889797 A	13/01/99
		EP 0901700 A	17/03/99
		EP 0901701 A	17/03/99
		EP 0901702 A	17/03/99
		EP 0901703 A	17/03/99
		EP 0901704 A	17/03/99
		EP 0901705 A	17/03/99
		EP 0901706 A	17/03/99
		EP 0901709 A	17/03/99
		EP 0901711 A	17/03/99
		EP 0903002 A	24/03/99
		EP 0906651 A	07/04/99
		EP 0910885 A	28/04/99
		EP 0910886 A	28/04/99
		NO 985499 A	25/11/98
		NO 985524 A	26/11/98
		NO 985552 A	27/11/98
		NO 985553 A	27/11/98

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
Information on patent family members

02/12/99

International application No.

PCT/SE 00/00724

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 9745919 A2	04/12/97	NO 985554 A	27/11/98
		NO 985555 A	27/11/98
		NO 985580 A	28/01/99
		NO 985581 A	28/01/99
		NO 985582 A	28/01/99
		NO 985583 A	28/01/99
		PL 330193 A	26/04/99
		PL 330194 A	26/04/99
		PL 330197 A	26/04/99
		PL 330198 A	26/04/99
		PL 330199 A	26/04/99
		PL 330200 A	26/04/99
		PL 330202 A	26/04/99
		PL 330215 A	10/05/99
		PL 330216 A	10/05/99
		PL 330217 A	10/05/99
		PL 330218 A	10/05/99
		PL 330225 A	10/05/99
		PL 330226 A	10/05/99
		PL 330234 A	10/05/99
		PL 330288 A	10/05/99
		PL 330289 A	10/05/99
		PL 330800 A	07/06/99
		SE 9602079 D	00/00/00
		SE 9804078 A	26/11/98
		SE 9804084 A	27/11/98
		SE 9804085 A	27/11/98
		SE 9804134 A	30/11/98
		WO 9745288 A	04/12/97
		WO 9745847 A	04/12/97
		WO 9745848 A	04/12/97
		WO 9745907 A	04/12/97
		WO 9745912 A	04/12/97
		WO 9745914 A	04/12/97
		WO 9745915 A	04/12/97
		WO 9745916 A	04/12/97
		WO 9745918 A	04/12/97
		WO 9745920 A	04/12/97
		WO 9745921 A	04/12/97
		WO 9745922 A	04/12/97
		WO 9745923 A	04/12/97
		WO 9745924 A	04/12/97
		WO 9745925 A	04/12/97
		WO 9745926 A	04/12/97
		WO 9745927 A	04/12/97
		WO 9745928 A	04/12/97
		WO 9745929 A	04/12/97
		WO 9745930 A	04/12/97
		WO 9745931 A	04/12/97
		WO 9745932 A	04/12/97
		WO 9745933 A	04/12/97
		WO 9745934 A	04/12/97
		WO 9745935 A	04/12/97
		WO 9745936 A	04/12/97
		WO 9745937 A	04/12/97

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
Information on patent family members

02/12/99 .

International application No.  
PCT/SE 00/00724

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 9745919 A2	04/12/97	WO 9745938 A	04/12/97
		WO 9745939 A	04/12/97
		WO 9747067 A	11/12/97
		ZA 9704717 A	04/09/98
		ZA 9704718 A	04/09/98
		ZA 9704722 A	04/09/98
		ZA 9704723 A	04/09/98
		ZA 9704724 A	04/09/98
		ZA 9704725 A	04/09/98
		ZA 9704727 A	04/09/98
		ZA 9704728 A	04/09/98

---

**RECORD COPY**

1/4

**PCT REQUEST**

Original (for SUBMISSION) - printed on 14.04.2000 10:49:18 AM

KN8631WO

0	<b>For receiving Office use only</b>	
0-1	International Application No.	<b>PCT/ SE 00 / 0 0 7 2 4</b>
0-2	International Filing Date	<b>1 7 -04- 2000</b>
0-3	Name of receiving Office and "PCT International Application"	<b>The Swedish Patent Office PCT International Application</b>
0-4	<b>Form - PCT/RO/101 PCT Request</b>	
0-4-1	Prepared using	<b>PCT-EASY Version 2.90 (updated 08.03.2000)</b>
0-5	<b>Petition</b> The undersigned requests that the present international application be processed according to the Patent Cooperation Treaty	
0-6	<b>Receiving Office (specified by the applicant)</b>	<b>Swedish Patent Office (RO/SE)</b>
0-7	<b>Applicant's or agent's file reference</b>	<b>KN8631WO</b>
I	<b>Title of invention</b>	<b>A CONSTANT-FREQUENCY MACHINE WITH A VARYING/VARIABLE SPEED</b>
II	<b>Applicant</b>	
II-1	This person is:	<b>applicant only</b>
II-2	Applicant for	<b>all designated States except US</b>
II-4	Name	<b>ABB AB</b>
II-5	Address:	<b>S-721 83 Västerås Sweden</b>
II-6	State of nationality	<b>SE</b>
II-7	State of residence	<b>SE</b>
II-8	Telephone No.	<b>+46 21 32 50 00</b>
II-9	Facsimile No.	<b>+46 21 13 41 12</b>
III-1	<b>Applicant and/or inventor</b>	
III-1-1	This person is:	<b>applicant and inventor</b>
III-1-2	Applicant for	<b>US only</b>
III-1-4	Name (LAST, First)	<b>GERTMAR, Lars</b>
III-1-5	Address:	<b>Humlegatan 6 S-722 26 Västerås Sweden</b>
III-1-6	State of nationality	<b>SE</b>
III-1-7	State of residence	<b>SE</b>

PCT REQUEST

KN8631WO

Original (for SUBMISSION) - printed on 14.04.2000 10:49:18 AM

IV-1	<b>Agent or common representative; or address for correspondence</b> The person identified below is hereby/has been appointed to act on behalf of the applicant(s) before the competent International Authorities as:	<b>agent</b>
IV-1-1	Name	ABB AB
IV-1-2	Address:	Patent Gideonsbergsgatan 2 Tegnérrområdet S-721 78 Västerås Sweden
IV-1-3	Telephone No.	+46 21 32 30 00
IV-1-4	Facsimile No.	+46 21 18 13 86
IV-2	<b>Additional agent(s)</b>	<b>additional agent(s) with same address as first named agent</b>
IV-2-1	Name(s)	LARSSON, Håkan; BENGTTSSON, Mats
V	<b>Designation of States</b>	
V-1	Regional Patent (other kinds of protection or treatment, if any, are specified between parentheses after the designation(s) concerned)	AP: GH GM KE LS MW SD SL SZ TZ UG ZW and any other State which is a Contracting State of the Harare Protocol and of the PCT EA: AM AZ BY KG KZ MD RU TJ TM and any other State which is a Contracting State of the Eurasian Patent Convention and of the PCT EP: AT BE CH&LI CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LU MC NL PT SE and any other State which is a Contracting State of the European Patent Convention and of the PCT OA: BF BJ CF CG CI CM GA GN GW ML MR NE SN TD TG and any other State which is a member State of OAPI and a Contracting State of the PCT
V-2	National Patent (other kinds of protection or treatment, if any, are specified between parentheses after the designation(s) concerned)	AE AG AL AM AT (patent and utility model) AU AZ BA BB BG BR BY CA CH&LI CN CR CU CZ (patent and utility model) DE (patent and utility model) DK (patent and utility model) DM DZ EE (utility model) ES FI (patent and utility model) GB GD GE GH GM HR HU ID IL IN IS JP KE KG KP KR KZ LC LK LR LS LT LU LV MA MD MG MK MN MW MX NO NZ PL PT RO RU SD SE SG SI SK (patent and utility model) SL TJ TM TR TT TZ UA UG US UZ VN YU ZA ZW



PCT REQUEST

KN8631WO

Original (for SUBMISSION) - printed on 14.04.2000 10:49:18 AM

V-5	<b>Precautionary Designation Statement</b> In addition to the designations made under items V-1, V-2 and V-3, the applicant also makes under Rule 4.9(b) all designations which would be permitted under the PCT except any designation(s) of the State(s) indicated under item V-6 below. The applicant declares that those additional designations are subject to confirmation and that any designation which is not confirmed before the expiration of 15 months from the priority date is to be regarded as withdrawn by the applicant at the expiration of that time limit.	
V-6	<b>Exclusion(s) from precautionary designations</b>	NONE
VI-1	<b>Priority claim of earlier national application</b>	
VI-1-1	Filing date	30 April 1999 (30.04.1999)
VI-1-2	Number	9901553-9
VI-1-3	Country	SE
VI-2	<b>Priority document request</b> The receiving Office is requested to prepare and transmit to the International Bureau a certified copy of the earlier application(s) identified above as item(s):	VI-1
VII-1	<b>International Searching Authority Chosen</b>	Swedish Patent Office (ISA/SE)
VII-2	<b>Request to use results of earlier search; reference to that search</b>	
VII-2-1	Date	30 April 1999 (30.04.1999)
VII-2-2	Number	SE99/00517
VII-2-3	Country (or regional Office)	SE
VIII	<b>Check list</b>	number of sheets      electronic file(s) attached
VIII-1	Request	4      ✓      -
VIII-2	Description	35      ✓      -
VIII-3	Claims	6      ✓      -
VIII-4	Abstract	1      ✓      8631woabstract.txt
VIII-5	Drawings	10      ✓      -
VIII-7	TOTAL	56      ✓
	<b>Accompanying items</b>	paper document(s) attached      electronic file(s) attached
VIII-8	Fee calculation sheet	✓      -
VIII-10	Copy of general power of attorney	reference no. no.GF3256/99      -
VIII-13	Translation of international application into:	English      -
VIII-16	PCT-EASY diskette	-      diskette
VIII-17	Other (specified):	Copy of ITS report      -
VIII-18	<b>Figure of the drawings which should accompany the abstract</b>	16

PCT REQUEST

KN8631WO

Original (for SUBMISSION) - printed on 14.04.2000 10:49:18 AM

VIII-19	Language of filing of the international application	English
IX-1	Signature of applicant or agent	<i>by Mats Bengtsson</i>
IX-1-1	Name	ABB AB
IX-1-2	Name of signatory	Mats BENGTTSSON
IX-1-3	Capacity	Patent Attorney

FOR RECEIVING OFFICE USE ONLY

10-1	Date of actual receipt of the purported international application	17-04-2000
10-2	Drawings:	
10-2-1	Received	
10-2-2	Not received	
10-3	Corrected date of actual receipt due to later but timely received papers or drawings completing the purported international application	
10-4	Date of timely receipt of the required corrections under PCT Article 11(2)	
10-5	International Searching Authority	ISA/SE
10-6	Transmittal of search copy delayed until search fee is paid	

FOR INTERNATIONAL BUREAU USE ONLY

11-1	Date of receipt of the record copy by the International Bureau	05 JUNE 2000	( 05.06.00 )
------	--	--------------	--------------

1/10

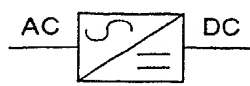


Fig 1a

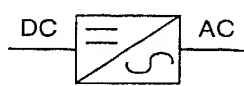


Fig 1b

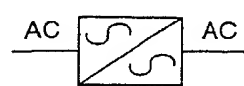


Fig 1c

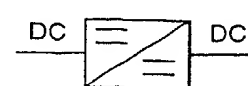


Fig 1d

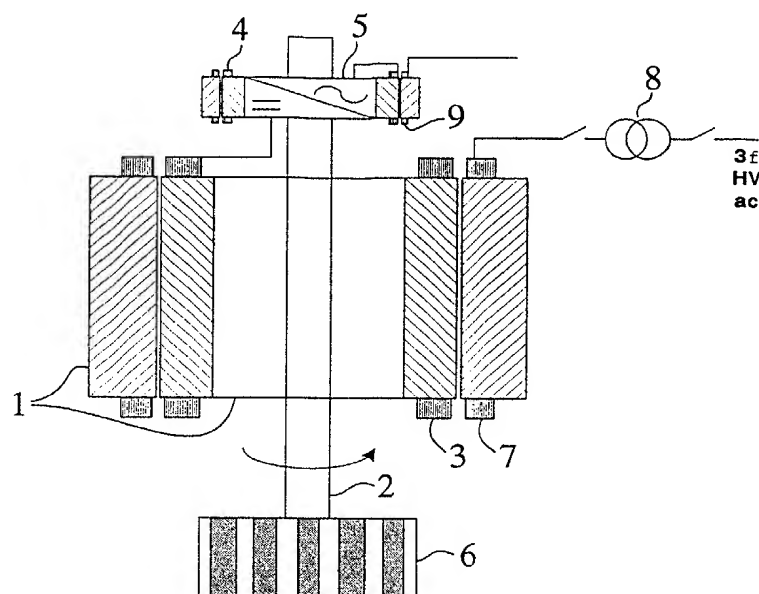


Fig 2

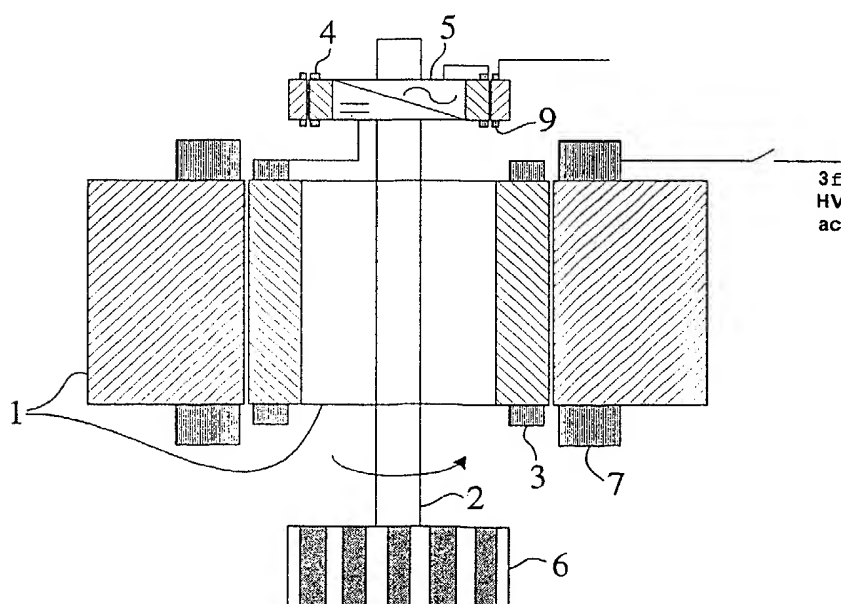


Fig 3

2/10

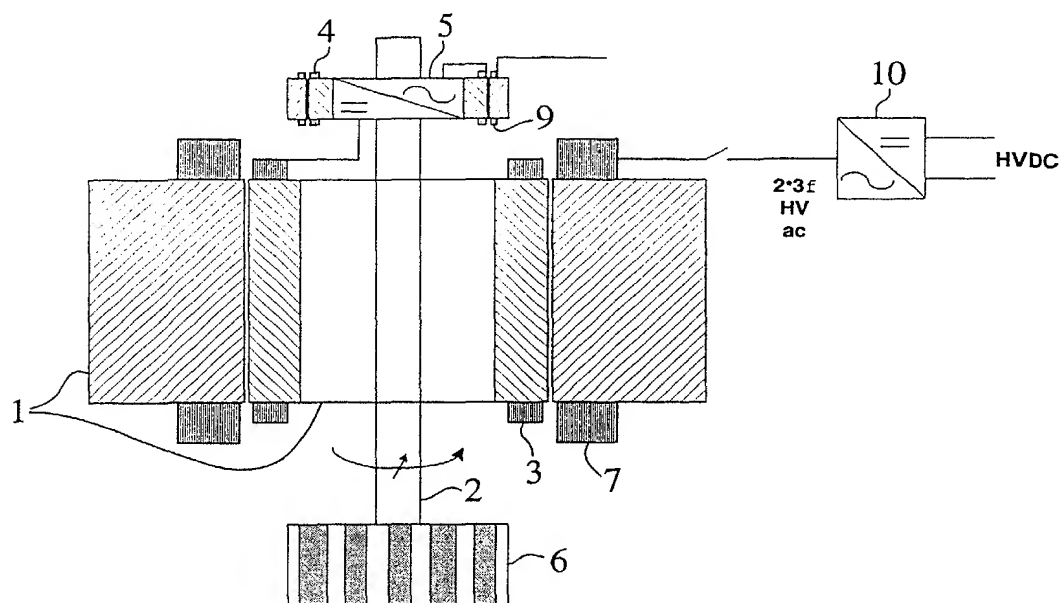


Fig 4

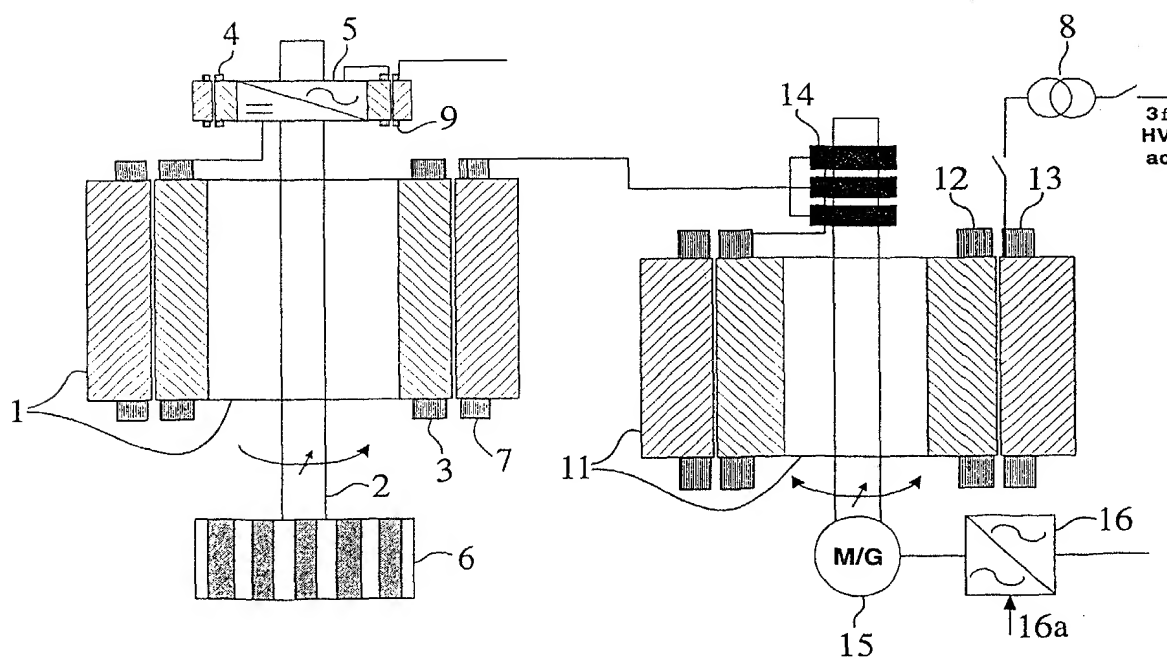


Fig 5

3/10

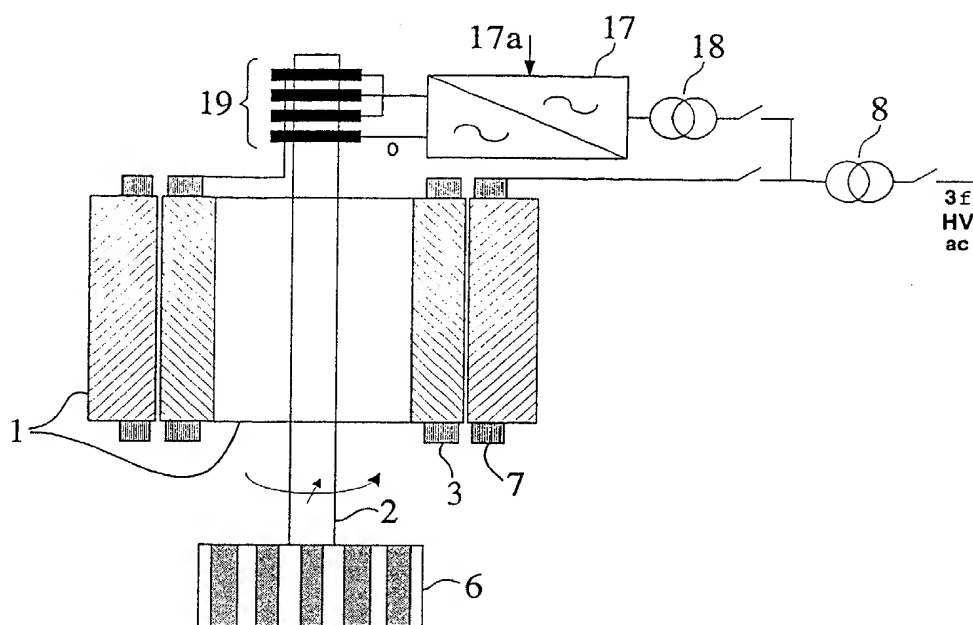


Fig 6

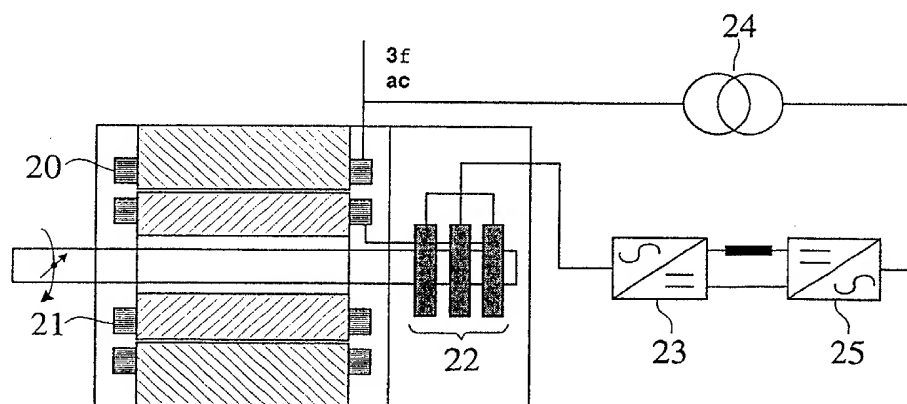


Fig 7

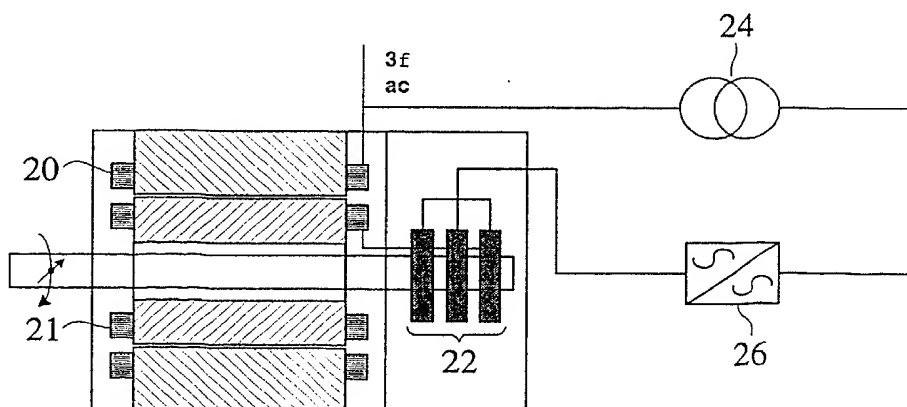


Fig 8

4/10

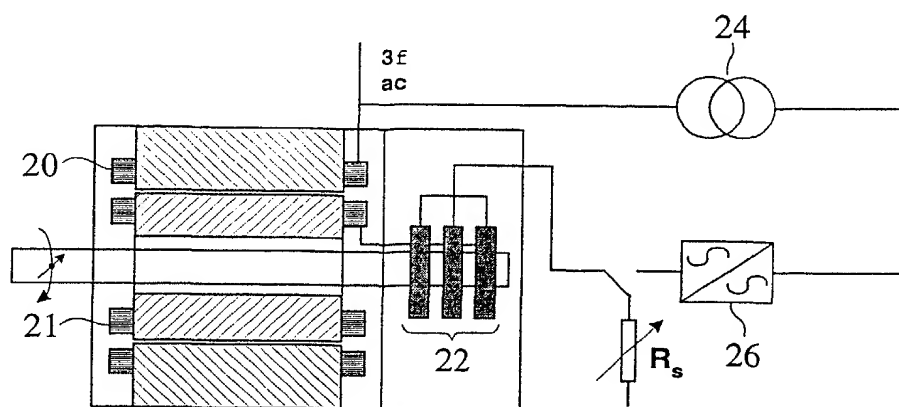


Fig 9

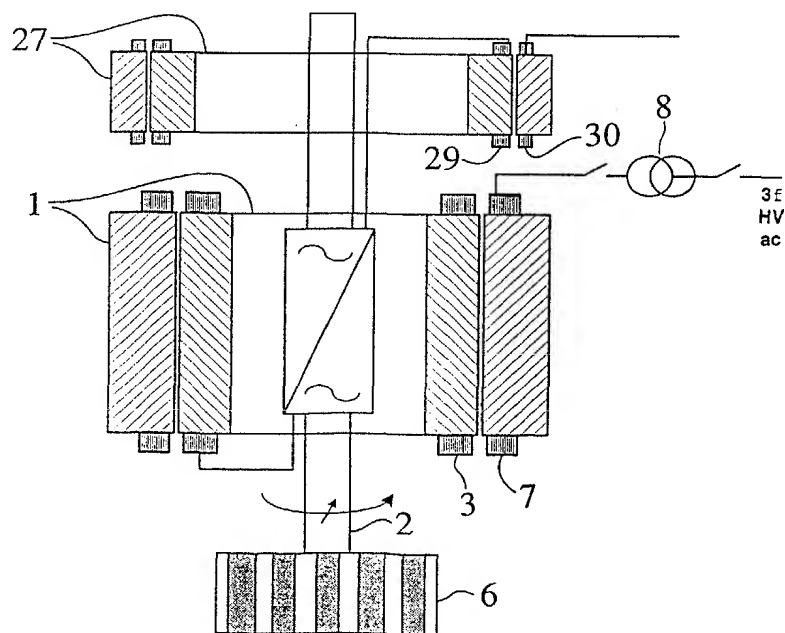


Fig 10

5/10

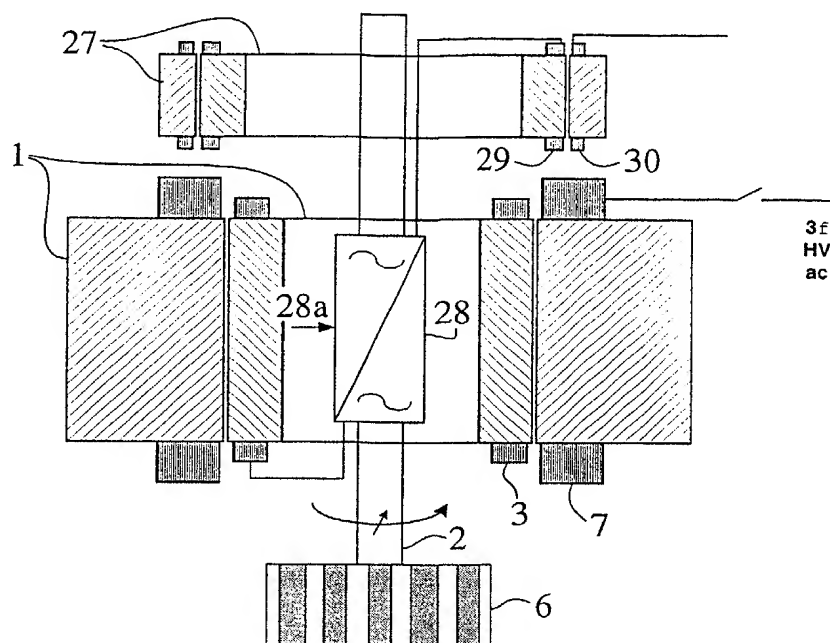


Fig 11a

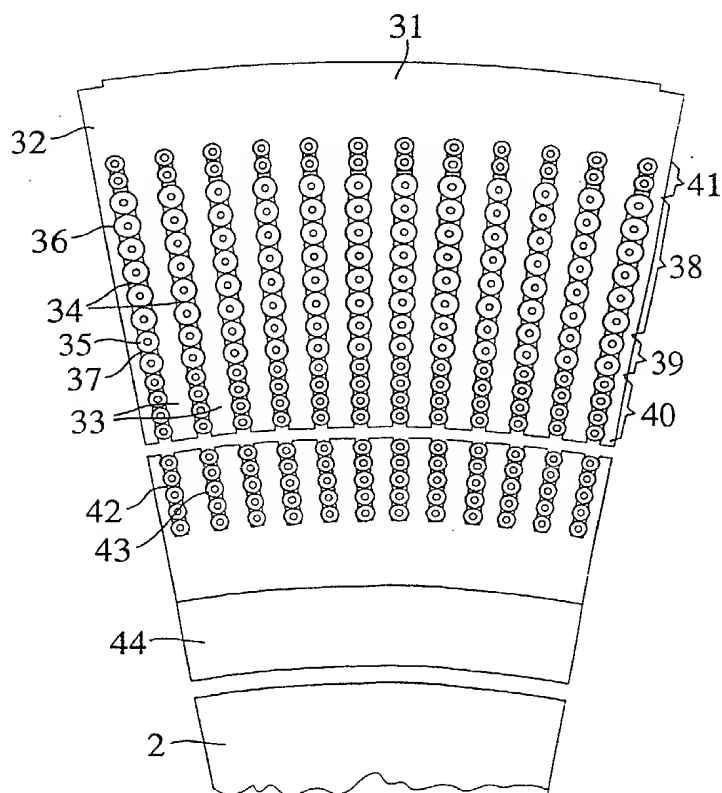


Fig 11b

6/10

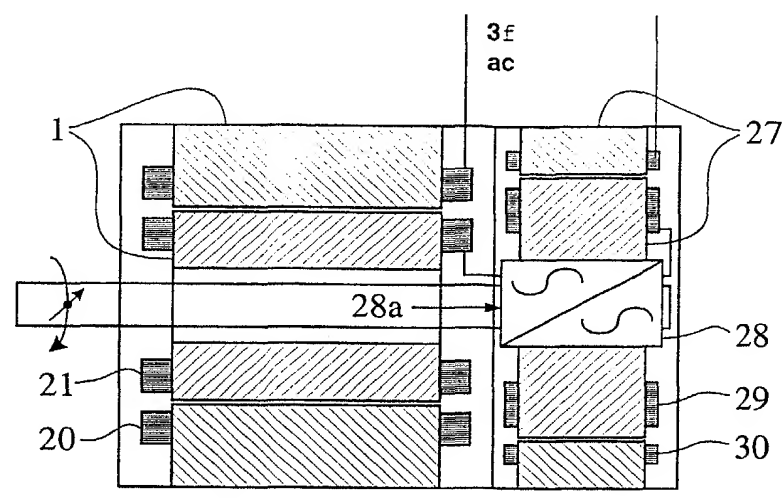


Fig 12

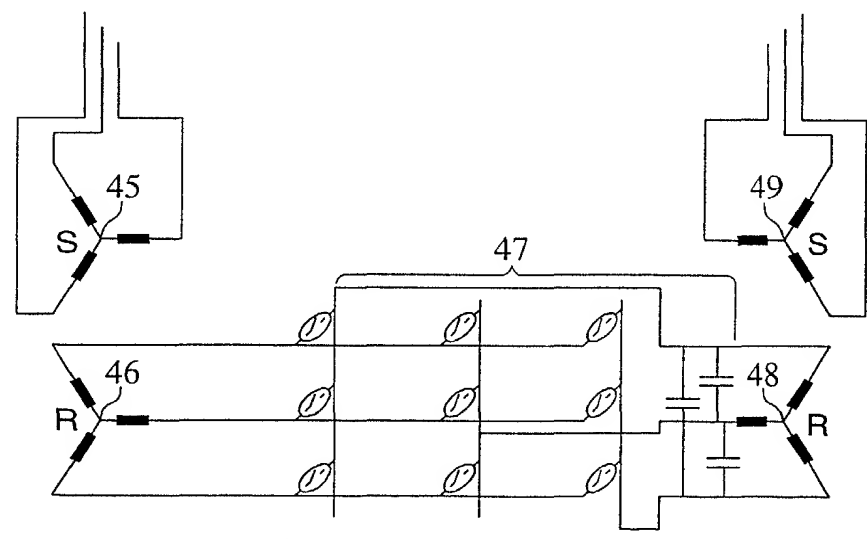


Fig 13



Fig 14a

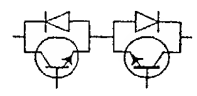


Fig 14b

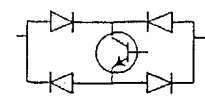


Fig 14c



7/10

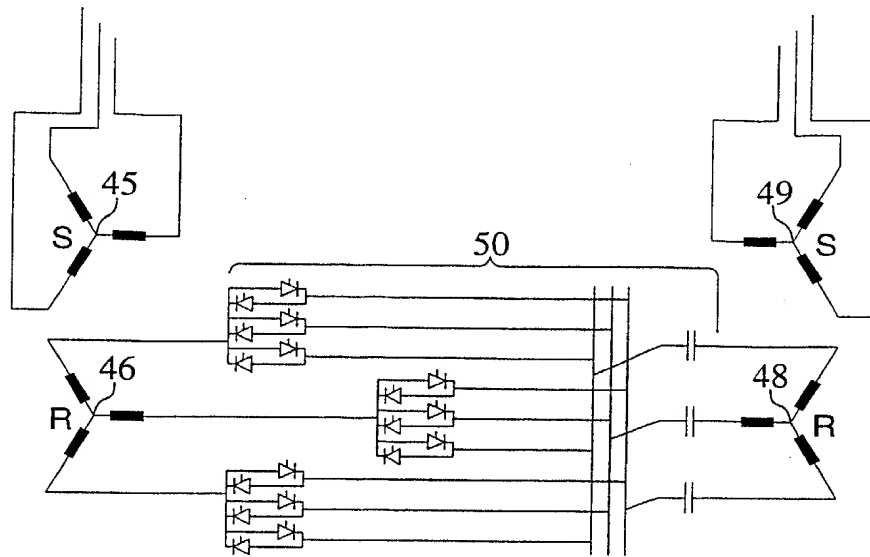


Fig 15

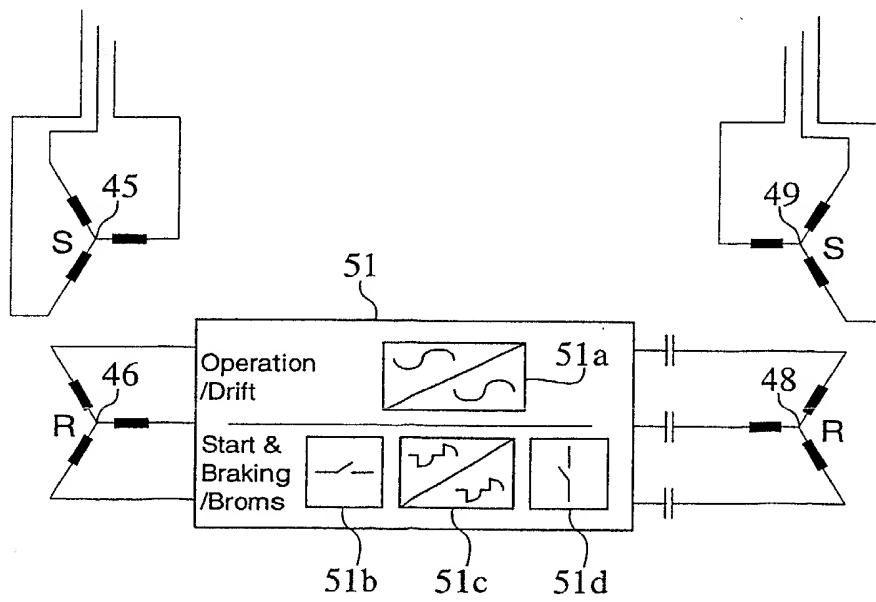


Fig 16

8/10

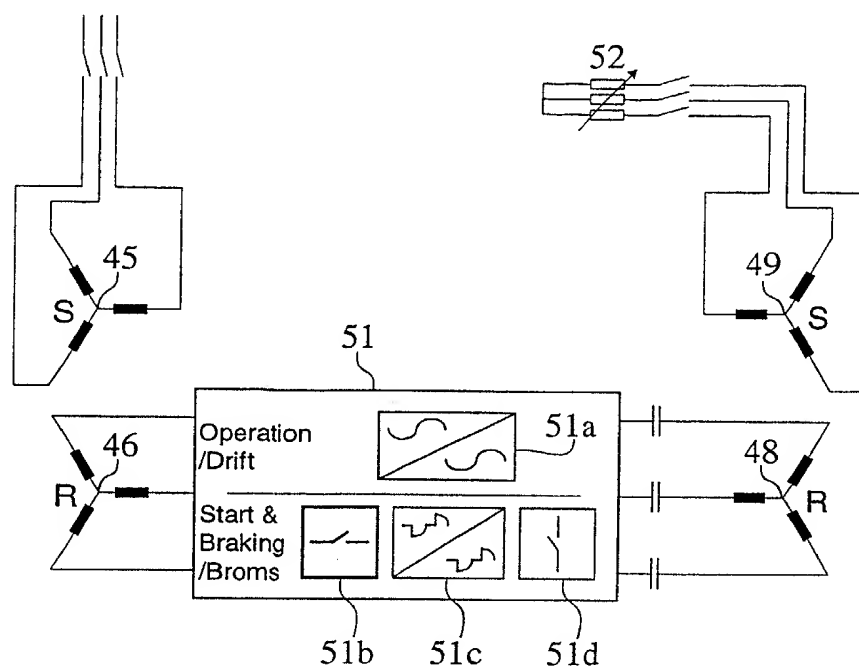


Fig 17

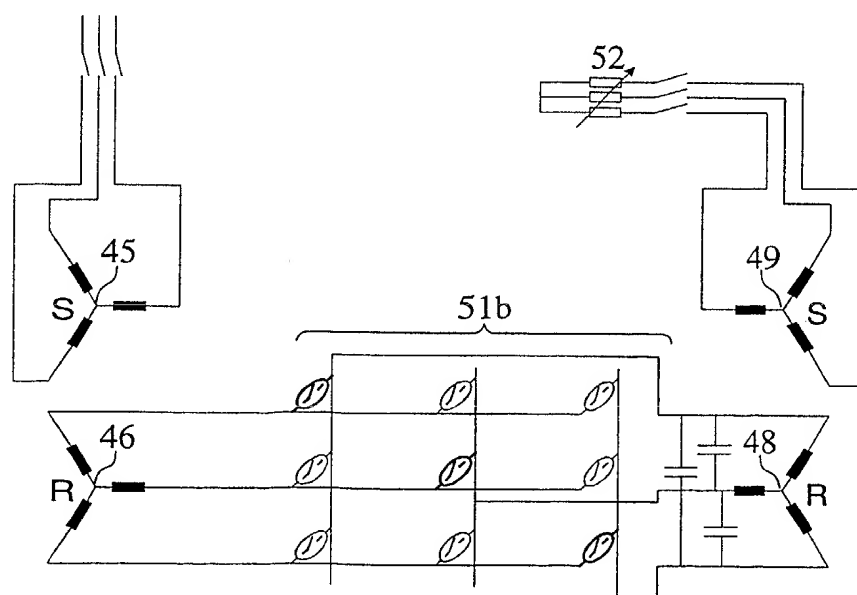


Fig 18

9/10

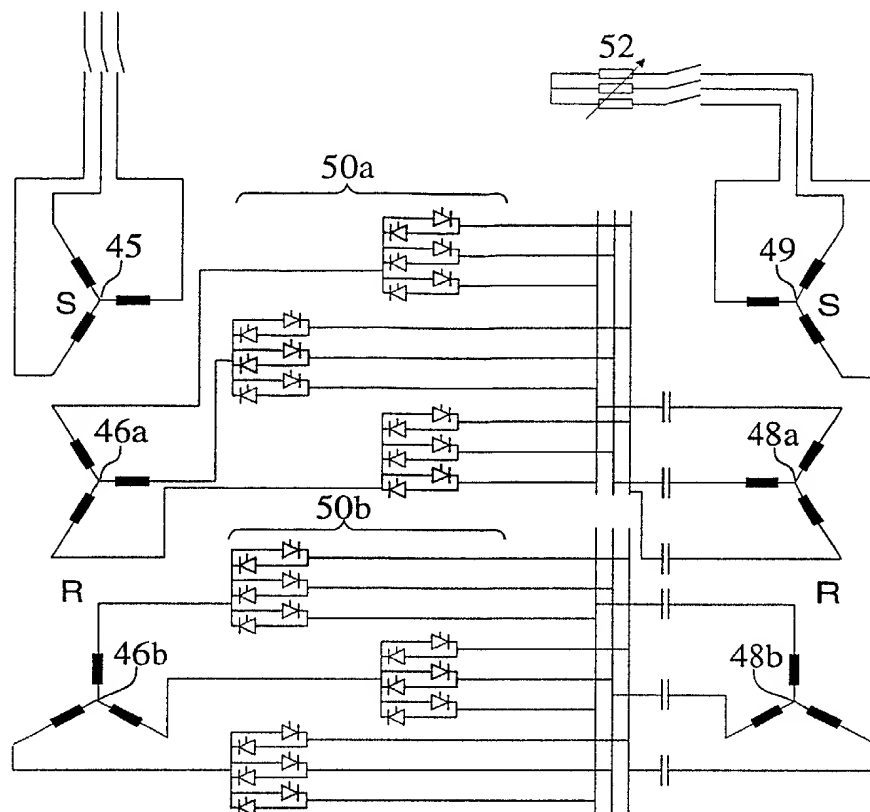


Fig 19

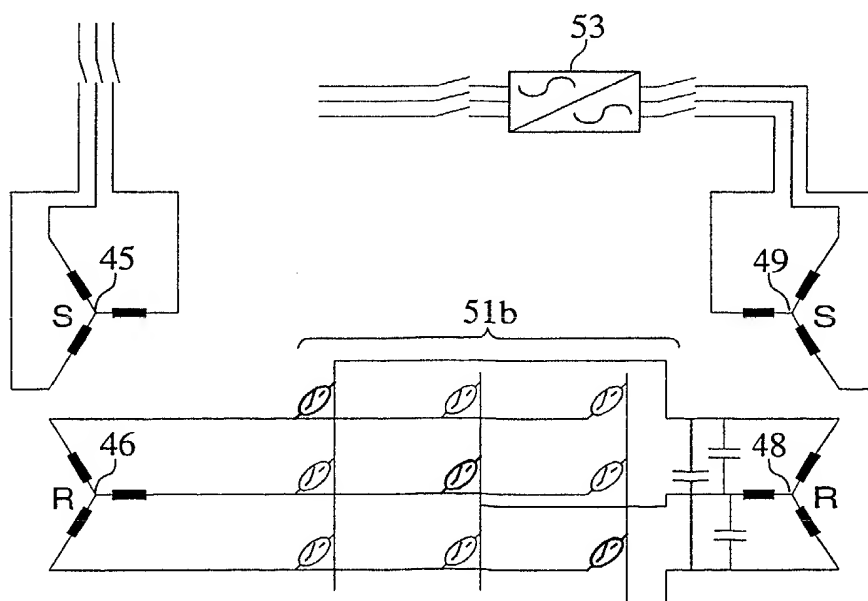


Fig 20

10/10

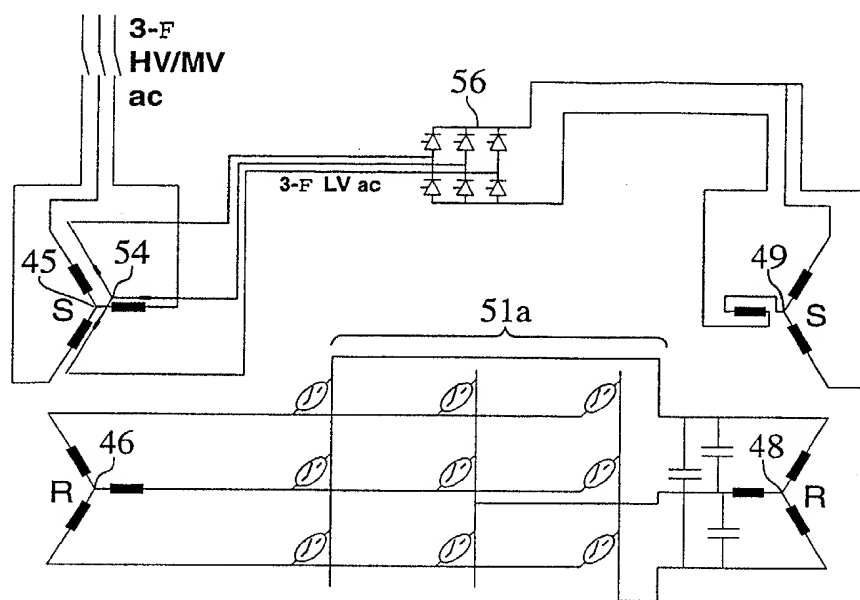


Fig 21

5

10

Konstantfrekvensmaskin med varierande/varierbart varvtal

15

TEKNISKT OMRÅDE

20

Föreliggande uppfinning avser en elektrisk roterande växelströmsmaskin som i sitt basutförande består av en huvudmaskin och en reglermaskin med gemensam mekanisk axel samt en med axeln roterande strömriktare vilket medger borstlös styrning av maskinen. Huvudmaskinen är försedd med en statorlindning ansluten till ett distributions- eller transmissionskraftnät för mellan- eller högspänning, dvs för 1 kV och upp till högre spänningar.

25

Uppfinningen innefattar ett förfarande vid användning av den medroterande strömriktaren.

30

Maskinen kan användas för omvandling mellan mekanisk och elektrisk effekt respektive omvandling av elektrisk till mekanisk effekt. Detta innebär att maskinen kan fungera både som generator och motor. I samband med omvandlingen kan både den aktiva och den reaktiva effekt som är förknippad med den aktuella driften regleras.

35

Vid generatordrift kan frekvensen hos statorlindningens genererade spänning hållas konstant lika med nätfrekvensen vid varierande varvtal hos maskinen.

40

Vid motordrift är statorlindningen ansluten till ett kraftnät. Drift med varierbart varvtal styrs borstlöst via reglermaskinen och den medroterande strömriktaren.

Uppfinningen har sitt främsta applikationsområde för stora maskineffekter. När det gäller generatordrift ligger typiska tillämpningar inom området

5 3 – 300 MW. Motordrifter på upp till 100 MW och högre kan tillverkas. Maskineffekter både under och över nämnda effektområden kan med fördel komma till användning.

Maskinen kan komma till användning i samband med vattenkraftsmaskiner, pumpkraftverk, vindkraftverk, gas- och ångturbiner samt som  
10 faskompensator, effektflödesregulator och transmissionslänk i kraftnätssammanhang, och som drivkälla för olika motordrifter.

De redovisade utföringsexemplen av uppfinningen och redogörelsen för teknikens ståndpunkt visar s k radialflödesmaskiner. Maskinen kan också  
15 helt eller delvis utföras med en eller flera axialflödesmaskiner.

När det gäller maskiner för generering av elektrisk effekt finns ett flertal vedertagna begrepp som elgenerator, elkraftgenerator, vattenkraftgenerator, hydrogenerator m fl. I denna patentskrift kommer dessa "generatorer" att  
20 omtalas som "elgenerator" om det inte av sammanhanget är nödvändigt med en närmare specificering.

## TEKNIKENS STÅNDPUNKT, PROBLEMEN

25 Generellt gäller för växelströmsmaskiner att de kan användas för både generatordrift och motordrift, men att de optimala utföringsformerna skiljer sig något. Det finns således en "teknikens ståndpunkt" som är specifik för de båda driftfallen.

30 Vid generatordrift är maskinens uppgift att alstra elektrisk effekt. För att kunna göra detta drivs elgeneratoren av en drivanordning varvid mekanisk effekt omvandlas till elektrisk effekt. Eftersom generering av elektrisk effekt i regel är förknippad med kraftnät ställs specifika krav på  
35 konstanthållande av både spänning och frekvens samt på styrning och reglering av både aktiv och reaktiv effekt. Nedan följande beskrivning av teknikens ståndpunkt, när det gäller generatordrift, kommer följaktligen att till stor del handla om hur man förfar för att uppnå önskade prestanda avseende dessa parametrar.

40 Då en växelströmsmaskin används i en motordrift omvandlas elektrisk effekt till mekanisk effekt där omvandlingen i växande andel är förknippad med varvtalsreglering av utgående axel, dvs av maskinens varvtal. Detta gäller speciellt vid tillämpning av rubricerade uppfinning. Beskrivningen av

5 teknikens ståndpunkt nedan när det gäller motordrifter kommer följaktligen  
huvudsakligen att handla om varvtalsreglerade motordrifter. Främst avser  
motordrifter reglering av moment och varvtal hos utgående axel.  
Motordrifter är dock på samma sätt som generering även förknippat med  
styrning och reglering av både aktiv och reaktiv effekt.

10

Ett väsentligt problemområde när det gäller motordrifter med  
växelströmsmaskiner är deras start, dvs uppkörning från noll varvtal till  
aktuellt reglerområde runt synkront varvtal. Redogörelsen för teknikens  
ståndpunkt kommer också att innefatta beskrivning av befintlig startmetodik  
15 för att kunna påvisa de förbättrade startförfaranden som står till buds med  
växelströmsmaskiner enligt uppfinningen.

Som omtalat under "TEKNISKT OMRÅDE" kommer uppfinningen att  
innefatta en strömriktare. Beskrivningen av teknikens ståndpunkt både när  
20 det gäller generatordrift och motordrift kommer därför huvudsakligen att  
referera till utföringsformer där strömriktare ingår. Ur elektrisk synpunkt  
beskrivs aktuella strömriktare med hjälp av etablerade grundläggande  
symboler enligt figur 1 som entydigt beskriver deras funktion, dvs enligt

25 fig 1a som avser omvandling från AC till DC, vs-ls-omvandling, enligt

fig 1b som avser omvandling från DC till AC, ls-vs-omvandling, enligt

fig 1c som avser en vs-vs-omvandling, och enligt

30

fig 1d som avser omvandling från en likspänning till en annan likspänning.

De vs-vs-omvandlare som kommer i fråga för utförandet av uppfinningen  
benämns enligt engelsk terminologi "ac-to-ac bidirectional converters" och  
35 förklaras i Websters El. Eng. Handbook, Wiley 1999, under avsnittet AC-  
AC POWER CONVERTERS, skrivet av Rik W. De Doncker, Aachen  
University of Technology. Det engelska begreppet "converter" översätts till  
svenska omväxlande med strömriktare, omriktare och omvandlare. Med  
begreppet vs-vs-omvandlare förstås i detta sammanhang omvandling av  
40 frekvens och/eller amplitud.

Strömriktarkopplingar för stora effekter utförs för närvarande mest med  
kiselbaserade tyristorer. Dessa kopplingar kräver ofta stora reaktiva effekter  
p g a att vs-nätets strömmar får stor fasförskjutning relativt dess spänningar.

5 Detta innebär att dimensioneringen av maskiner för strömriktarbaserade system och av strömriktare måste ta hänsyn till reaktiva effektflöden, dvs till reaktiva förluster i maskiners och vs-näts reaktanser och till behov av faskompensering, således inte enbart till de rent aktiva effektflödena med mer eller mindre försumbara aktiva förluster.

10

Ur mekanisk synpunkt byggs enligt teknikens ståndpunkt strömriktare som kommer till användning i sammanhang som rör elektriska maskiner normalt såsom enheter, som står vid sidan av maskinen eller monteras fast på dess stator. Under de senaste decennierna har man börjat montera strömriktare fast på de roterande delarna, dvs i eller på den roterande delen, exempelvis som delar av ett roterande borstlöst system för likströmsmagnetisering av synkronmaskiner enligt nedan. I vissa sammanhang förekommer också strömriktarstyrda rotormotstånd.

20 En strömriktarkoppling som är mycket viktig i rubricerade sammanhang är en koppling enligt figur 1c, dvs en koppling som avser frekvens- eller vs-vs-omvandling. Funktionen hos en vs-vs-omvandlare kan åstadkommas på flera olika sätt. Ett principiellt sätt är att omvandlingen sker med vs-ls-vs-omvandling, dvs med ls-mellanled. Ett annat sätt är att omvandlingen  
25 åstadkoms med direkt vs-vs-omvandling som kan ske i olika utföringsformer. Exempel på sådana är omvandling med s k cykloconverters med nätkommuterade dubbelströmriktare eller med s k matrisomriktare med självkommuterade dubbelriktade krafthalvledare.

30 Eftersom det i detta sammanhang endast är huvudfunktionerna som energiomvandlare som är aktuella kommer detaljbeskrivning och styrning, skydd, reglering m m av strömriktare samt kommunikation av signaler till och från roterande delar inte att beröras i denna skrift.

35 Både när det gäller generatordrift och motordrift av växelströmsmaskiner förekommer ett välkänt begrepp som benämnes synkront varvtal. Det finns ett entydigt samband mellan rotorns rotationshastighet ( $n_r$ , r/min), maskinens poltal ( $p$ ) och frekvens ( $f_s$ , Hz) hos maskinens spänning. Sambandet vid synkron drift redovisas oftast som:

40

$$n_r = (2/p) \cdot f_s \cdot 60 \quad (1)$$

Den närmast följande delen av teknikens ståndpunkt handlar om



5 växelströmsmaskinens användning som elgenerator.

Man utgår från ett elgenererande aggregat i form av en elgenerator och en till denna mekaniskt kopplad drivanordning i form av en turbin, drivmotor av något slag eller liknande. För att elgeneratoren skall kunna kopplas till ett kraftnät och bidra till kraftnätets elförsörjning krävs att elgenerators spänning, eventuellt via en transformator, anpassas till kraftnätets spänning samt att spänningens frekvens överensstämmer med kraftnätets frekvens.

För att åstadkomma den önskade och konstanta frekvensen krävs således, med givet poltal, att aggregatet roterar med ett konstant varvtal vilket innebär att drivanordningen måste ha någon form av reglerutrustning för olika belastningsförhållande med mera. Varierande vattenflöde, fallhöjd och nätpendlingar kräver både statisk och dynamisk noggrannhet hos frekvensregleringen av vattenkraftsgeneratorer.

Inledningsvis skall ges en kortfattad beskrivning av hur magnetiseringssystemen för elgeneratorer som roterar med "konstant" varvtal är utformade enligt dagens teknik. Detta sker delvis med s k borstlös magnetisering med hjälp av en medroterande matare och strömriktare.

Ett exempel på en utformning av en borstlös matare framgår av ABB-broschyren "Brushless exciter", SEGEN/HM 8-001. Av broschyren framgår att mataren är en växelströmsmaskin vars stator är försedd med utpräglade poler och vars rotor har en trefas växelströmslindning för matning av ovan nämnda strömriktare, företrädesvis en sexpuls strömriktarbrygga. Strömriktarens likspänning,  $U_L$ , ansluts sedan till elgenerators fältlindning. Elgenerators spänningsreglering sker genom att påverka matarens magnetisering via dess statorlindning (fältlindning). Att ha en medroterande strömriktare för vs-ls-omvandling och likströmsmagnetisering av polsystemet hos elgeneratorer med "konstant" varvtal är således känd teknik.

Figur 2 visar principiellt hur en borstlös matare kommer till användning i konventionella elgeneratorer, dvs med spänningar upp till 25 kV. Här visas en vertikalaxlad elgenerator 1 som på den gemensamma axeln 2 är anordnad med elgenerators rotor med lindning 3, matarens roterande växelströmslindning 4, medroterande strömriktare 5 och drivanordning i form av en turbin 6. Elgenerators stator 7 är via en step-up- transformator 8 ansluten till ett högspänningsnät. Av figur 2 framgår även matarens stationära fältlindning 9. Figur 3 visar motsvarande utföringsform av

- 5 magnetiseringssystemet där elgeneratoren är utformad som en  
högspänningsgenerator enligt WO 97/45919. Någon transformator för  
anslutning till ett högspänningsnät behövs då inte. Hänvisningssiffrorna är i  
övrigt desamma som i figur 2. I figur 4 visas motsvarande utföringsform av  
magnetiseringssystemet där elgeneratoren enligt WO 97/45907 är  
10 utformad som en högspänningsgenerator med 2x3-fas för matning av en  
HVDC-anläggning 10 med 12-pulskoppling. Hänvisningssiffrorna är i  
övrigt desamma som i figur 2.

- En speciell utföringsform av likströmsmagnetisering hos en med konstant  
15 varvtal roterande elmaskin beskrivs i en patentansökan PCT/EP 98/007744,  
för "Power flow control" i en transmissionslinje. Elmaskinens  
statorlindningar är här inkopplade i serie med transmissionslinjens ledare  
utan hopkopplad neutralpunkt. Elmaskinens rotor är försedd med två/tre  
90/120 grader elektriskt förskjutna likströmsrotorlindningar för reglering av  
20 amplitud och fas hos elmaskinens spänning. Matning av rotorlindningarna  
sker via en medroterande magnetiseringsmatare och strömriktare/vs-ls-  
omvandlare för var och en av rotorlindningarna.

- Enligt IEC 34-1/2 finns normerade tillåtna frekvens- och spännings-  
25 avvikelser för elgeneratorer. För att klara elgeneratorns skenbara märkeffekt  
skall elgeneratorns arbetspunkt ligga inom en s k A-zon som (i stort)  
begränsas av +/- 2 % vad frekvens beträffar och +/- 5 % vad spänning  
beträffar. Arbetspunkten tillåts dock få ligga inom en s k B-zon som (i stort)  
begränsas av +3 och -5 % vad frekvens beträffar och +/- 8 % vad spänning  
30 beträffar.

- För konventionella elgeneratorer med likströmsmagnetiserade poler gäller  
som anförts ovan ett givet och fast förhållande mellan den genererade  
spänningens frekvens och rotationshastighet hos rotorn vid givet poltal. Att  
35 ansluta en elgenerator till ett styvt kraftnät där elgeneratorns synkrona  
hastighet/frekvens avviker från nätets frekvens innebär väsentligt ökade  
förluster hos elgeneratoren. Om nu ett normalt arbetande 50 Hz-kraftnät av  
olika skäl håller 2 % lägre frekvens kommer en ansluten elgenerator ändå att  
arbeta med en synkron frekvens om rotorns rotationshastighet är 2 % lägre  
40 än nominell hastighet. Även om man på detta sätt under vissa förutsättningar  
kan få synkrona förhållanden innebär varierande varvtal hos en ansluten  
elgenerator stora problem, speciellt som det kan vara svårt nog att tillåta  
varvtalsvariationerna så stora som tekniskt-ekonomiskt önskvärda +/-10 %.  
För att lösa dessa problem har frekvensregleringen hos elgeneratorer med

- 5 varierande rotationshastighet fått lösas på andra sätt. För detta ändamål finns enligt teknikens ståndpunkt olika utföringsformer av vilka ett antal skall redovisas nedan.

10 Principiellt är ett av de enklaste sätten att åstadkomma rätt frekvens för nätanslutning av en elgenerator, vars varvtal varierar inom ovan anförda gränser, att mellan generator och kraftnät ansluta en vs-vs-omvandlare enligt figur 1c. Ur ekonomisk synpunkt är detta dock ett mycket tveksamt utförande eftersom vs-vs-omvandlaren måste dimensioneras för full effekt.

15 De utföringsformer som enligt teknikens ståndpunkt har kommit till användning är dock huvudsakligen baserade på en annan inom ellära för sådana maskiner känd princip, se t ex nedan nämnda artikel i Hitachi Review. Principen skall här exemplifieras med hjälp av ett sifferexempel med utgångspunkt från en elgenerator som skall generera en spänning med  
20 frekvensen 50 Hz. Ett typiskt vattenkraftverk dimensioneras för ett basvarvtal på 375 r/min och har följaktligen, enligt ekvation (1) 16 poler. Om aggregatet av olika skäl drivs av turbinen att rotera med 360 r/min skulle elgeneratorns synkrona frekvens vid likströmsmagnetisering av rotorpolerna enligt ekvation (1) generera en spänning med frekvensen 48 Hz.

25 Om man utformar rotorlindningen som en vs-lindning och matar denna lindning med en spänning med skillnadsfrekvensen mellan den synkrona frekvensen  $f_r$  vid 360 r/min och den önskade frekvensen 50 Hz, dvs med  $f_c = 2$  Hz, kommer frekvensen hos elgeneratorn att vara  $f_s = 50$  Hz. Generellt  
30 gäller att ekvation (1) omvandlas till

$$n_r = (2/p) \cdot (f_s + f_c) \cdot 60 \quad (2)$$

35 där  $f_c$  är den aktuella skillnadsfrekvensen. Ett system för konstanthållande av elgeneratorns frekvens skall således se till att, oberoende av aktuellt varvtal hos drivordningen, rotorlindningen förses med en spänning med aktuell skillnadsfrekvens både vad avser undersynkron och översynkron drift. Denna princip tillämpas på olika sätt eller med olika utföringsformer. Typiskt för kända utföringsformer är att rotoranslutningarna sker via trefas  
40 släpningar, som överför hela axeleffekten eller en stor del av densamma.

I US 5,742,515, "Asynchronous conversion method and apparatus for use with variable speed turbine hydroelectric generation", beskrivs ett hydroelektriskt kraftgenereringssystem som genererar elektrisk effekt till ett

5 kraftnät. Sammanfattningsvis kan den elgenererande delen av systemet  
beskrivas med utgångspunkt från figur 5 där ingående delar är ritade med  
samma figursymboler och hänvisningssiffror som i figurerna 2 - 4. Systemet  
innefattar, enligt patentkrav 19 i nämnda US-patent, (för att förtydliga  
hänvisningen till US-patentet används här hydro-/turbín, -generator,  
10 -maskin osv) "en vattendriven hydroturbín 6 med en hydrogenerator 1 för  
alstring av hydroelektrisk effekt och en roterande omformare 11 kopplad till  
hydromaskinen för överföring av hydromaskinens elektriska effekt till  
kraftnätet. Den roterande omformaren innefattar en rotorlindning 12 och en  
statorlindning 13 av vilka rotorlindningen eller statorlindningen är kopplad  
15 till hydroturbínheten och den andra via en transformator 8 till det  
högspända kraftnätet.....". Av beskrivningen i övrigt framgår att  
hydrogeneratoren 1 innefattar en axel 2 som är anordnad med  
hydrogenerators rotor med lindning 3 och en matares roterande  
växelströmlindning 4. Det framgår inte av figurer eller text i patentet om  
20 "exciter power supply" (fig 1A, 62) är en medroterande strömriktare eller  
om likströmsmagnetiseringen sker via en stationär strömriktare och  
överföring via två släpringar. Principiellt är detta likvärdiga lösningar men  
för jämförelse med övriga utföranden anges i figur 5 att magnetiseringen  
sker via en medroterande strömriktare 5. Av figur 5 framgår även matarens  
25 stationära fältlindning 9 samt hydrogenerators statorlindning 7. Denna del  
av figur 5 är som det framgår identisk med figur 2.

Av beskrivningen i övrigt framgår att, i enlighet med figur 5,  
hydrogenerators statoreffekt överförs via släpringar 14 på den roterande  
30 omformaren 11 till dennas rotorlindning 12. Den i omformarens  
statorlindning 13 inducerade spänningen är kopplad via en transformator 8  
till kraftnätet. Omformarens 11 uppgift är således att förse systemet med  
den skillnadsfrekvens som är nödvändig för att systemet skall kunna leverera  
en spänning med rätt frekvens till kraftnätet vid varierande varvtal hos  
35 hydromaskinen. I praktiken innebär detta att om hydromaskinen roterar med  
sitt synkrona varvtal kommer omformaren att vara stillastående, dvs fungera  
som en stationär transformator. Beroende på aktuellt varvtal hos  
hydromaskinen kommer således omformarens rotor att behöva en drivkälla  
M/G 15 i form av en motor eller generator med vs-vs-omvandlare 16. Det  
40 kan således konstateras att omformaren 11 måste dimensioneras för i stort  
sett samma effekt som hydrogeneratoren och att släpringarna måste kunna  
överföra full effekt. Omformaren 11 roterar med den låga skillnads-  
frekvensen vilket innebär att omformaren måste ha forcerad kylning med  
stor effektförlust.

5 Spänningsregleringen hos en hydrogenerator 1 enligt US-patentskriften sker genom ovan nämnda likströmsmagnetisering. Den roterande omformaren 11 har i sin rotorlindning 12 och i sin statorlindning 13 läckreaktanser som förbrukar reaktiv effekt och orsakar spänningsfall. Dessa kan kompenseras med ökad likströmsmagnetisering i generatorns rotorlindning 3 eller kan,  
10 enligt den med ovan anförda US-patentet associerade ansökan EP 0749190 A2, kompenseras av seriekondensatorer. Av EP-ansökan framgår även att en typisk märkspänning för släpringarna är 15 kV. Märkströmmen för en sådan 100 MVA-maskin blir således ca 4 kA och för en 300 MVA-maskin blir den 12 kA. Ett väsentligt problem med sådana maskiner blir följaktligen  
15 att utföra, nyttja och underhålla släpringar för dessa spänningar och strömmar.

I ABB Review 3/1996, pp 33 - 38 redovisas en anläggning där "ABB Varspeed generator boosts efficiency and operating flexibility of  
20 hydropower plant". Optimeringen sker genom att man låter turbin och elgenerator gå med variabelt varvtal. För att ändå kunna ansluta elgeneratoren till ett kraftnät med given och i huvudsak fast frekvens anpassas elgeneratorns frekvens till nätfrekvens med hjälp av en s k under/översynkron strömriktarkaskad. För att lättare kunna jämföra denna  
25 generator drift med övriga redovisade utföranden har den aktuella delen av figur 4 i nämnda ABB-publikation återgivits i figur 6 och ritats med samma figursymboler och hänvisningssiffror som i figurena 2 - 4 i rubricerade patentskrift. Här finns således en vattendriven turbin 6 med en elgenerator 1 (G2) för alstring av hydroelektrisk effekt. Elgeneratoren 1 innefattar en axel  
30 2 som är anordnad med hydrogeneratorns rotor med lindning 3. I figur 6 visas även elgeneratorns statorlindning 7. Frekvensanpassningen till aktuell nätfrekvens sker med hjälp av den under/översynkrona strömriktarkaskaden 17 (CC), som i själva verket är en sk cykloconverter/frekvensomvandlare. Matningen till dess nätsida sker via en transformator 18 (TR) och den  
35 aktuella skillnadsfrekvensen matas in till elgeneratorns rotorlindning 3 via släpringar 19. Den således med rätt frekvens alstrade spänningen matas sedan via en transformator 8 till kraftnätet. En sådan frekvensanpassning hos en elgenerator som drivs av ett variabelt varvtal är en s k Static Scherbiusdrift, se nedan under redovisningen av teknikens ståndpunkt vad  
40 avser motordrifter.

För att kontinuerligt och under olika driftförutsättningar kunna åstadkomma rätt skillnadsfrekvens krävs ett frekvensreglersystem. I det utföringsexempel av teknikens ståndpunkt som visas i figur 5 skall frekvensreglersystemet se

5 till att omformarens rotor roterar med rätt varvtal med hjälp av en styrsignal  
16a till M/G:s styrdon och i det exempel som visas i figur 6 skall  
frekvensreglersystemet ge rätt styrsignal 17a till vs-vs-omvandlaren 17.  
Frekvensreglersystemen ligger dock utanför ramen för denna uppfinning och  
kommer således ej att närmare beskrivas.

10

För anslutning till ett kraftnät krävs förutom någon form av frekvens-  
reglering även en spänningsreglering till amplitud och fasvinkel. Spännings-  
reglersystemen ligger på samma sätt som ovan utanför ramen för denna  
uppfinning.

15

Beroende på aktuellt reglerområde både vad frekvens och spänning beträffar  
kommer vid släpningade växelströmsmaskiner effekt att cirkulera internt via  
den krets som innefattar stator, rotor, släpningar, transformator och  
strömriktare. Effektdimensioneringen av dessa delar ligger också utanför  
20 ramen för denna uppfinning även om en relativ jämförelse mellan olika  
utföringsformer kommer att visas under redogörelsen för uppfinningen för  
att påvisa de fördelar som utföranden enligt uppfinningen besitter relativt  
teknikens ståndpunkt.

25 I SU 1746474 A1 redovisas en "Asynchronised Synchronous Machine  
having Reversive Excitation System". Detta är en elektrisk maskin med  
konventionell trefas statorlindning kopplad till ett kraftnät. Rotorn är försedd  
med galvaniskt skilda faslindningar. Var och en av dessa är kopplade till var  
sin medroterande dubbelströmriktare. Dessa är utförda med tyristorer och  
30 matas från en medroterande magnetiseringsmatare. Strömriktarna är således  
maskinkommuterade från magnetiseringsmataren och är anordnade så att de  
kan förse respektive rotorlindning med växelspanning med en frekvens som  
motsvarar maskinens eftersläpningsfrekvens. Det är uppenbart att det finns  
problem vid byte av strömriktning i rotorlindningarna. För att säkerställa  
35 övergången och för att undvika stora kortslutningsströmmar då  
magnetiseringsströmmen skall byta riktning har man fått tillgripa ett  
speciellt kopplingsarrangemang för anslutningen av dubbelströmriktarna.  
Detta består i att varje rotorlindning är försedd med ett extra uttag ett antal  
lindningsvarv från varje änduttag.

40

För att vid varierande vindhastighet kunna anpassa frekvensen hos ett  
vindkraftverks elgenerator till ett anslutet kraftnäts frekvens finns ett  
borstlöst system, OPTI-SLIP®, framtagen av Vestas Danish Wind  
Technology A/S, Danmark, beskrivet i en artikel "Semi-variable speed

5 operation-a compromise?", presenterad vid Proceedings of 17th Annual  
Conference, British Wind Energy Association. 19-21 July 1995, Warwick,  
UK. Principen för regleringen är baserad på den välkända metoden med  
förlustreglering med hjälp av varierande yttre rotormotstånd anslutna via  
10 släpringar till elgeneratorns rotorlindning. Till skillnad från den välkända  
släpringsmetoden är OPTI-SLIP®-anläggningen anordnad med en  
medroterande vs-ls-ls-omriktare och medroterande fasta rotormotstånd direkt  
anslutna till rotorlindningen. Vs-ls-omvandlingen är utförd med en  
diodlikriktare, som i sin tur kortsluts av en ls-ls-omvandlare.  
Vindkraftverkets hastighetsreglering sker via en inre rotorströmsreglering.  
15 Den med regleringen förknippade förlusteffekten utvecklas således i det  
medroterande rotormotståndet för att sedan avges till omgivande luft. Av  
konferensuppsatsen framgår det att varvtalet kan vara upp till 4 % över det  
synkrona med påföljden att lika många procent effekt förloras som förluster i  
rotorkretsen.

20 Uppkörning av elgeneratorer till aktuellt reglerområde sker på samma sätt  
som för konstantvarviga generatorer, dvs att turbinen accelererar  
elgeneratorm till området för möjlig synkronisering.

25 Den närmast följande delen av teknikens ståndpunkt behandlar  
växelströmsmaskiners användning som motor med varierbart varvtal med ett  
mer eller mindre begränsat varvtalsreglerområde omkring ett av  
växelströmsnätets frekvens och huvudmaskinens poltal enligt ekvation (1)  
bestämt synkront varvtal.

30 Varvtalsstyrda/-reglerade motordrifter har funnits i ca 100 år. De allra första  
var s k Ward-Leonard-drifter, dvs likströmsmotordrifter. Något senare  
tillkom olika motordrifter baserade på växelströmsmaskiner. Dessa  
motordrifter är ofta benämnda efter sina respektive uppfinnare Kramer,  
35 Scherbius, Schrage m fl. Kännetecknande för dessa maskiner är att de är  
försedda med lindad rotor samt borstar och släpringar eller kommutator.  
Typiskt är också att de är anordnade för att föra tillbaka elektrisk effekt från  
de roterande delarna till stillastående anläggningsdelar som t ex rotor-  
motstånd eller att de är reglerade med maskiner som ställdon.

40 Efter strömriktarnas tillkomst har intresset för varvtalsreglerade motordrifter  
med växelströmsmaskiner rent allmänt fått förnyad aktualitet. De senaste  
årens forskning har fokuserats på s k "borstlösa växelströmsmaskiners"  
varvtalsreglering via i huvudsak två principer, nämligen genom att variera

- 5 statorfrekvensen med vs-vs-omvandlare, s k statoromriktare för full effekt, och under de senaste decennierna ofta genom s k fältvektorreglering, dvs uppdelning i flödes- och momentbildande strömmar.

- 10 Tillkomsten av strömriktare har även medfört att de klassiska Kramer- och Scherbiusdrifterna, vilka följer ekvation (2) ovan, har fått förnyad aktualitet och benämns numera ofta som "Static Kramer" respektive "Static Scherbius". Den förnyade aktualiteten avser främst motordrifter med effekter i MW-klassen. Det är dessa motordrifter som närmast är att betrakta som teknikens ståndpunkt relativt rubricerade uppfinning. Dessa finns
- 15 beskrivna i ett stort antal skrifter, bl a kortfattad i IEE Proc, Vol. 131, Pt. A, No. 7, September 1984, pp 535-536, "Electrical variable-speed drives", av B. L. Jones m fl.

- 20 En statisk Kramerdrift omtalas oftast som en undersynkron strömriktarkaskad och har en principiell koppling enligt figur 7. Den horisontalaxlade motorns statorlindning 20 är kopplad till ett kraftnät. Rotorlindningen 21 är via släppringar 22 kopplad till en likriktare 23, vars spänning blir proportionell mot eftersläpningen. Denna spänning kopplas mot av spänningen från en till samma kraftnät via en transformator 24
- 25 kopplad växelriktare 25. Växelriktarens spänning är en trigonometrisk funktion av dess styrvinkel och bestämmer på detta sätt motorns varvtal. Hos en statisk Kramerdrift blir på detta sätt eftersläpningeffekten matad tillbaka till nätet genom frekvensomvandling i två steg via ett likströmsmellanled.

- 30 När det gäller en drift enligt figur 7 kan effekt överföras endast i en riktning via likriktare men i båda riktningarna om likriktaren 23 utförs som strömriktare med tyristorer. För att ändra rotationsriktningen behöver motoranslutningens fasföljd skiftas.

- 35 En statisk Kramerdrift kan karakteriseras som en strömstyrd motordrift.

- 40 En statisk Scherbiusdrift framgår av figur 8. Motorns statorlindning 20 är på samma sätt som i figur 7 kopplad till ett kraftnät. Rotorlindningen 21 är via släppringar 22 kopplad till en, till kraftnätet via en transformator 24 ansluten, cykloconverter/ frekvensomvandlare 26. Det specifika för en Scherbiusdrift är att varvtalet styrs via rotoranslutningen med cykloconverters spänning vars amplitud, fas och frekvens kan ändras oberoende av varandra. För styrningen behövs en återkoppling från motorn för att upprätthålla rätt



- 5 frekvens samt amplitudkvoten och fasförhållandet mellan rotorspänning och styrspänning.

En fördel hos Scherbiusdriften relativt Kramerdriften är att frekvensomvandlaren kan förse maskinen med en rotorström även vid  
10 synkron drift vilket medför att driften utan extra elektronik kan övergå från undersynkron till översynkron drift. Dessutom kan en Scherbiusdrift, eftersom frekvensomvandlaren är regenerativ, bromsa både vid under- och översynkron hastighet. Den kan också kontinuerligt arbeta vid synkron drift utan att krafthalvledarna överbelastas. Släpringarna kan dock bli  
15 osymmetriskt belastade med viss risk för överhettning när driften är synkron.

En statisk Scherbiusdrift kan karakteriseras som en frekvens- och spänningsstyrd motordrift.

- 20 I Hitachi Review Vol. 44 (1995), No. 1, pp 55 - 62 beskrivs en "400-MW Adjustable-Speed Pumped-Storage Hydraulic Power Plant" som baseras på Scherbius-principen där den vertikalaxlade varvtalsreglerade växelströmsmaskinen används som pumpmotor nattetid och som elgenerator dagtid. Bortsett från axelns monteringsriktning är växelströmsmaskinens  
25 principiella utförande, koppling och funktionella beskrivning således den samma som för figurerna 6 och 8. Intressanta siffror i sammanhanget är att i generatordrift är märkeffekten 395 MVA vid ett varvtalsområde på 330 - 354 r/min och vid motordrift är märkeffekten 380 MW vid ett varvtalsreglerområde 330 - 390 r/min. Den behövliga cykloconverters  
30 effekt för dessa reglerområden är 72 MVA, dvs den ligger mellan 18 och 22 % av respektive märkeffekter.

- De redovisade utförandena med släpringar och strömriktare både vad gäller elgenerator- och motordrift är behäftade med vissa nackdelar/problem som  
35 uppfinningen avser att i stor utsträckning eliminera respektive reducera.

- Den största nackdelen med dessa drifter, och som förorsakar flest problem och fel, är släpringarna och deras anslutningar, borstar m m. Dessa delar av en växelströmsdrift är de som har kortast livslängd och kräver mest  
40 underhåll, speciellt som de skall överföra väsentliga effekter, jämför t ex nämnda utförande enligt US 5,742,515 där hela maskineffekten skall överföras via släpringarna.

- 5 Vid släpringade växelströmsmaskindrifter cirkulerar effekt internt både i statorkretsen, rotorkretsen och luftgapet samt via den yttre transformatorn och vs-vs-omvandlaren. Den cirkulerande effekten kan vara både aktiv och reaktiv. Den reaktiva effekten förbrukas internt i transformatorn, i strömriktaren samt i växelströmsmaskinens rotor och stator. Detta ökar
- 10 typeffekten för den elektromagnetiska kretsen, dvs den dimensionerande produkten av märkspänning vid tomgång och märkström vid full last. Samtidigt innebär detta också att strömriktarnas typeffekt blir större än vad som behövs pga den cirkulerande reaktiva effekten.
- 15 Växelströmsmotordrifterna har f n av olika skäl en praktisk övre effektgräns på ca 25 MW. Detta beror huvudsakligen på de problem som uppstår i samband med start och acceleration av motordrifterna på relativt svaga kraftnät. Om man skulle starta en synkronmaskin med direktstart, dvs med direkt inkoppling till kraftnätet utan att på något sätt försöka reducera
- 20 rotorströmmarna, skulle startströmmen kunna uppgå till 3 – 6 gånger märkström och startförlusterna kommer huvudsakligen att utvecklas i de roterande delarna där de under start-/accelerationsförloppet lagras adiabatiskt. För att start skall kunna ske på ett mer kontrollerat sätt tillgrips olika förfaranden som serie/parallell koppling av statorlindningarna, med
- 25 hjälp av starttransformator eller med en förkopplad reaktor eller motstånd. Start av släpringade växelströmsmaskiner kan ske med full statorspänning med till rotorlindningen via släpringarna anslutet rotormotstånd  $R_s$  som succesivt minskas när maskinen går i gång. En sådan startanordning framgår av figur 9.
- 30 Bromsning eller retardation av växelströmsmaskiner från reglerområdet runt synkront varvtal till stillastående enligt teknikens ståndpunkt sker på ett för fackmannen välkänt sätt. Bromsning är ett transient förlopp och är på samma sätt som start associerat med förändringar i det roterande systemets
- 35 rörelseenergi. Den enklaste elektriska metoden att bromsa är den s k motströmsbromsningen, som sker genom att byta två faser i den till statorlindningen anslutna växelspänningen. Den med det transienta förloppet associerade förändringen av rörelseenergin orsakar förlustenergi i rotorkretsen, som därför klassiskt utförs med släpringar och yttre
- 40 rotormotstånd för att föra bort förlustenergin från växelströmsmaskinens inre på samma sätt som vid start.

## 5 REDOGÖRELSE FÖR UPPFINNINGEN, FÖRDELAR

Som angivits inledningsvis består uppfinningen av en elektrisk roterande växelströmsmaskin som i sitt basutförande innefattar en huvudmaskin och en reglermaskin med gemensam mekanisk axel och en med axeln roterande strömriktare. Uppfinningen innefattar även ett förfarande vid användning av den medroterande strömriktaren.

Kännetecknande för huvudmaskinen är att den är utformad med vs-lindningar i både stator och rotor samt att den kan arbeta både som elgenerator och motor.

Reglermaskinen har flera funktioner. Den skall förse huvudmaskinens rotorlindning med reglereffekt/-frekvens för aktuellt reglerområde och den skall också kunna fungera som startmotor för konstantfrekvensmaskinen eller kunna överföra huvudmaskinens startförluster till yttre motstånd.

Strömriktaren har också flera funktioner. Dess huvuduppgift är att under drift fungera som en vs-vs-omvandlare enligt tidigare given definition. Under start skall den kunna fungera som en vs-flerfaskopplare eller som en vs-fasvinkel-/spänningsregulator eller som en vs-kortslutningskopplare för reglermaskinens rotorlindning. Vid kontrollerad bromsning och/eller stopp skall strömriktaren kunna fungera som en vs-fasvinkel-/spänningsregulator eller som en vs-flerfaskopplare. Uppfinningen innefattar även ett förfarande vid användning av den medroterande strömriktaren i enlighet med ovanstående.

Anläggningsutförandena då maskinen arbetar som elgenerator respektive motor skiljer sig dock något främst vad avser märkeffekter, märkspänningar och startmetoder. I vissa sammanhang kan dock maskinen komma till användning både som elgenerator och motor.

Inledningsvis behandlar redogörelsen för uppfinningen utformningen av huvudmaskinens statorlindning, som i stora drag är gemensam för maskinen både som elgenerator och motor. Sedan följer en beskrivning av maskinen då den kommer till användning som elgenerator med variabelt varvtal och då den används som motor med varierande varvtal. Därefter redogörs i stora drag för reglermaskinens samt även i viss utsträckning vs-vs-omvandlarens utformning. Avslutningsvis anges de fördelar som en maskin enligt uppfinningen besitter relativt teknikens standpunkt.

5 Det har i generella ordalag anförts ovan att huvudmaskinens statorlindning  
ansluts till ett transmissions- eller distributionskraftnät med mellan- eller  
högspänning. Anslutningen kan som anförts på bifogade figurer vara  
transformatorlös eller via krafttransformatorer. Anslutningen kan också ske  
10 mot strömriktare för frekvensomvandling, för faskompensering, för filtrering  
av övertoner osv.

För direktanslutning till ett högspänningsnät är statorlindningen hos en  
maskin enligt uppfinningen lindad med en högspänningskabel. En  
föredragen utföringsform av kabeln innefattar en strömförande ledare som  
15 består av transponerade, både oisolerade och isolerade, kardeler. Runt  
ledaren finns ett inre halvledande skikt som är omgivet av minst ett  
extruderat isolationslager vilket i sin tur är omgivet av ett yttre halvledande  
skikt. För att undvika inducerade strömmar och därmed förknippade  
förluster i det yttre halvledande skiktet är detta delat i ett antal avskurna  
20 delar. Var och en av dessa avskurna delar är sedan ansluten till jord varvid  
det yttre halvledande skiktet kommer att befinna sig på jordpotential eller  
åtminstone nära jordpotential. Detta innebär att inga stora slumpvis  
fördelade, med ledargeometrin varierande elektriska fältkoncentrationer kan  
uppstå hos maskinens statorlindning. En fyligare beskrivning av en sådan  
25 kabel och lindning samt de fördelar som en sådan kabel och lindning medger  
i roterande maskiner ges i WO 97/45919.

Som angivits ovan skall redogörelsen för uppfinningen först beskriva hur  
maskinen kommer till användning som en elgenerator med varierande  
30 varvtal. Ett utföringsexempel av basutförandet visas i figur 10 som vad  
genererad spänning beträffar avser en konventionell elgenerator, dvs en  
elgenerator avsedd för spänningar upp till 25 kV. För att enkelt kunna  
jämföra uppfinningen med den redovisade teknikens ståndpunkt har figur 10  
i möjligaste mån samma figursymboler och hänvisningssiffror som tidigare  
35 redovisade figurer. Det finns således en huvudmaskin/elgenerator 1, en på  
en gemensam axel anordnad reglermaskin 27 och en på axeln monterad  
strömriktare 28 i form av en vs-vs-omvandlare. Av figur 10 framgår i övrigt  
att reglermaskinens växelströmsrotorlindning 29 är ansluten till vs-vs-  
omvandlarens "nätsida" och att dess utgång är ansluten till elgeneratorns  
40 växelströmsrotorlindning 3. Reglermaskinens statorlindning 30 kan på  
samma sätt som för tidigare omtalade borstlösa matare vara utformad med  
utpräglade poler. Som det framgår av den följande redovisningen kan även  
annan utformning komma till användning. Huvudmaskinen/elgeneratorn och  
reglermaskinen drivs på tidigare omtalat sätt via en turbin 6. Elgeneratorns i

- 5 statorlindningen 7 genererade spänning ansluts som ovan via en step-up-transformator 8 till ett högspänningskraftnät.

Principen för frekvensregleringen vid varierande varvtal på drivanordningen är densamma som tidigare redovisats, dvs att man tillför elgeneratorns  
10 växelströmsrotorlindning 3 en spänning med den skillnadsfrekvens som behövs för att vid aktuellt varvtal erhålla den önskade frekvensen hos den genererade statorspänningen. Frekvensreglersystemets styrsignal 28a till den roterande vs-vs-omvandlaren kan skapas på olika sätt som ligger utanför ramen för denna uppfinning. Detsamma gäller systemets spännings-  
15 reglering, vad avser amplitud och fasvinkel.

Det skall uppmärksammas att då elgeneratoren drivs med ett varvtal som, med givet pötal, motsvarar synkronisering till kraftnätets frekvens, så  
20 kommer vs-vs-omvandlarens anslutning till rotorlindningen att ske med frekvensen noll, dvs med likström.

Till skillnad från teknikens ståndpunkt med släpringad överföring av effekt/skillnadsfrekvens till rotorlindningen och till skillnad från den  
25 specialkoppling av rotorlindningen med galvaniskt skilda lindningar med extra uttag som behövs med den maskinkommuterade dubbelströmriktaren som redovisas i SU 1746474 A1, sker nu enligt uppfinningen överföring av effekt/skillnadsfrekvens till en konventionell rotorlindning med en självkommuterad dubbelströmriktare som i en föredragen utföringsform består av en matrisomvandlare. Eftersom det nu är fråga om effektöverföring  
30 till/från kraftnätet måste reglermaskin och strömriktare dimensioneras för det aktuella reglerområdet både vad moment och varvtal beträffar samt även beträffande s k kommuteringsöverlappningar pga "svagt nät"-karaktär hos de roterande lindningarna. Som exempel på sådan dimensionering anges enligt ovan cycloconverters effekt relativt märkeffekten i Hitachifallet. För att  
35 illustrera detta har, till skillnad från figur 2, 3 m fl där mataren enbart skall förse elgeneratoren med likströmsmagnetiseringseffekt, reglermaskinen 27 ritats mera proportionellt korrekt relativt elgeneratorns effekt.

Problem i samband med strömriktares kommutering kan reduceras på olika  
40 sätt. I ABB Review 2/97 pp 25-33 beskrivs ett sätt med "Capacitor commuted convertors for HVDC-system". Artikeln beskriver hur kommuteringsmarginalen förbättras och hur reaktiva effektbehovet sjunker med seriekondensatorer i vs-anslutningen, dvs mellan den nätkommuterade strömriktaren och dess transformator, när strömriktaren arbetar i

- 5 växelriktardrift. En motsvarande teknik kommer till användning i samband med beskrivningen och utföringsformer av den i uppfinningen integrerade vs-vs-omvandlaren.

10 Konstantfrekvensmaskinen med variabelt varvtal enligt uppfinningen kan självfallet utformas för anpassning till olika genererande applikationsalternativ. Detta gäller speciellt för både huvudmaskinens och reglermaskinens lindningsutföranden och därmed även för vs-vs-omvandlarens utformning. Som exempel på alternativa utföringsformer när det gäller statorlindningen hos elgeneratoren kan den också, förutom den i figur 10  
15 visade utföringsformen för "konventionell" högspänningsnivå vad elgeneratorer beträffar, utformas som den i WO 97/45919 redovisade elgeneratoren för än högre spänningar enligt figur 11a som är en motsvarighet till figur 3. Figur 11b visar en axiell ändvy av en sektor/poldelning hos en huvudmaskin enligt uppfinningen och kommer att närmare redovisas under  
20 beskrivningen av utföringsformer. Motsvarigheten till figur 4, dvs där elgeneratoren är utformad som en högspänningsgenerator enligt WO 97/45907 med 2x3-fas statorlindningar för matning av en HVDC-anläggning med 12-pulsspänning, är också en högst aktuell utföringsform.

- 25 Uppkörning/start av konstantfrekvensmaskinen till aktuellt reglerområde för drift som elgenerator sker genom att turbinen accelererar huvudmaskin och reglermaskin till dess att maskinen själv kan överta regleringen.

30 En växelströmsmaskin enligt uppfinningen har också ett stort applikationsområde när det gäller motordrifter med varierande varvtal. Ett basutförande när det gäller motordrifter skall beskrivas med utgångspunkt från figur 12.

35 På samma sätt som angivits för utföringsexemplet med basutförandet av elgeneratoren skall även här, för jämförelse av uppfinningen med den redovisade teknikens ståndpunkt, i möjligaste mån samma figursymboler och hänvisningssiffror komma till användning som i tidigare redovisade figurer vad avser motordrifter, dvs figurerna 7 och 8. Det finns således enligt figur 12 en huvudmaskin/elmotor 1 med en statorlindning 20 och en  
40 rotorlindning 21, en på en gemensam axel anordnad reglermaskin 27 och en strömriktare 28 i form av en vs-vs-omvandlare. Reglermaskinen är försedd med en rotorlindning 29 och en statorlindning 30. Av figur 12 framgår i övrigt att reglermaskinens rotorlindning 29 är ansluten till

- 5 vs-vs-omvandlarens "nätsida" och att dess utgång är ansluten till  
huvudmaskinens/elmotorns växelströms rotorlindning 21. Reglermaskinens  
statorlindning 30 kan på samma sätt som tidigare omtalade borstlösa matare  
vara utformad med utpräglade poler men även här kan andra utföringsformer  
10 förekomma. Elmotorn och reglermaskinen driver gemensamt den (icke  
visade) mekaniska lasten.

- Principen för att variera varvtalet hos motordrifter vid växelströmsmatning  
med "konstant" nätfrekvens är densamma som tidigare redovisats för  
elgeneratorer, dvs att enligt figur 12 huvudmaskinens växelströms-  
15 rotorlindning 21 tillförs en spänning med den skillnadsfrekvens som behövs  
för att de av strömmarna i statorlindningen 20 och rotorlindningen 29  
skapade mmk- och flödesvågorna skall rotera synkront i elmotorns 1 luftgap.  
Varvtals-/frekvensreglersystemets styrsignal 28a kan skapas på olika sätt.  
Det beror på krav på dynamik, effektfaktor, nätspänningens nivå relativt dess  
20 nominella osv. På samma sätt som för synkron drift av elgeneratoren  
redovisats ovan får strömmen i elmotorns 1 rotorlindning 21 frekvensen noll  
vid synkron drift, dvs det blir åter ett specialfall med likström i  
huvudmaskinens växelströms rotorlindning.

- 25 Vid redogörelsen för uppfinningen både vad gäller generator- och motordrift  
har angivits att reglermaskinens rotorlindning skall vara en  
växelströmslindning och att statorlindningen kan vara utformad med  
utpräglade poler men att andra utföringsformer kan, beroende på olika  
tillämpningar, bli aktuella. Den närmast följande delen av redogörelsen  
30 beskriver alternativa utföringsformer.

- Reglermaskinen skapar ett lokalt växelströmsnät till vilket endast  
vs-vs-omvandlaren är ansluten. Dess poltal kan således väljas relativt fritt.  
För att hålla dess fysiska dimensioner så små som möjligt för en given  
35 varvtalsvariation utförs reglermaskinen företrädesvis med fler poler än  
huvudmaskinen.

- Utformningen med utpräglade poler kan också ske på olika sätt. Den  
föredragna utföringsformen består av "utpräglade poler" med en  
40 likströmslindning. Därvid skapas ett stillastående luftgapsflöde i regler-  
maskinen som medger en anläggningstekniskt attraktiv styrmöjlighet genom  
att variera luftgapsflödets storlek via likströmmens värde. Utföringsformen  
utpräglade poler i reglermaskinens stator innefattar även att luftgapsflödet  
skapas av permanenta magneter, vilket dock innebär ett i stort sett konstant

- 5 luftgapsflöde. Utformningen med utpräglade poler hos reglermaskinens stator är huvudsakligen aktuell då uppfinningen kommer till användning vid olika generatordrifter.

- 10 Reglermaskinens statorlindning kan också utformas som en växelströmslindning varvid det skapas ett roterande luftgapsflöde i reglermaskinen. Ett sådant utförande medger främst tillförsel av magnetiseringseffekt under drift, dock kombinerad med viss in-/utmatning av axeleffekt. Denna kan elimineras genom att mata in likström i en del av eller genom omkoppling av växelströmslindningen. En annan stor fördel  
15 med en växelströmslindning i statorn är att startförutsättningarna förbättras väsentligt då maskinen enligt uppfinningen används som motor.

- De vs-vs-omvandlare som enligt teknikens ståndpunkt används i samband med varvtalsreglering via matande varierande frekvens har en konstant  
20 infrekvens bestämd av elkraftnätet. En maskin enligt uppfinningen ställer högre krav på vs-vs-omvandlaren. Detta beror på att vs-vs-omvandlarens inspänning/infrekvens, som alstras av reglermaskinens rotorlindning, varierar och är, för given maskindesign och elkraftnät beroende av och direkt proportionell mot axelns variabla/varierande varvtal. Dessutom skall vs-vs-  
25 omvandlarens utspänning/utfrekvens till huvudmaskinens rotorlindning vad frekvens beträffar vara proportionell mot varvtalsskillnaden mellan huvudmaskinens synkrona och aktuella varvtal. Detta medför att kvoten mellan vs-vs-omvandlarens in- och utfrekvens kommer att variera.

- 30 Den i uppfinningen integrerande vs-vs-omvandlarens utformning och ingående komponenter kommer att närmare redovisas i beskrivningen av utföringsformer. Generellt gäller i övrigt att vs-vs-omvandlaren kan vara utförd som en matrisomvandlare eller som en cyklokonverter, dvs en spänningsstyv direktomvandlare med antiparallellkopplade tyristorbryggor.  
35 Vs-vs-omvandlaren kan också utföras med likspännings- eller likströmsmellanled. Den skall dimensioneras så att den tål största uppträdande tomgångsspänning och största möjliga belastningsström i rotorlindningarna.

- 40 Växelströmsmaskindrifter enligt uppfinningen har ett väsentligt antal fördelar jämfört med motsvarande drifter utformade enligt teknikens ståndpunkt:

- Styrning/reglering av växelströmsmaskinen sker borstlöst.



5

- Eftersom det vid dessa borstlösa växelströmsmaskiner inte cirkulerar effekt runt via statorkretsen innebär detta ungefär en halvering av nödvändiga strömriktareffekter.

10

- En växelströmsmaskin enligt uppfinningen kan både som motor och generator komma till användning för generering av reaktiv effekt till kraftnätet eller åtminstone inte dra någon reaktiv effekt från maskinen.

15

- Kraftelektroniska strömriktare minskar huvudkretsarnas förluster och fysiska storlek.

20

- Eftersom vare sig aktiv eller reaktiv cirkulerande effekt belastar statorns lindning kommer också förlusterna att väsentligt minska relativt motsvarande för teknikens standpunkt.

25

- Både huvudmaskinens och reglermaskinens rotorlindningar kan utföras med lägre och därmed billigare spänningsnivåer, eftersom det inte längre finns några begränsande, yttre kriterier från släppringar, utbredda skenstråk och kablage.

30

- Övertoner i strömriktarkretsarna stannar väsentligen inne i den roterande maskinen och fortplantas således ej till kraftnätet.
- Maskinen kan utformas för en, två eller flera högeffektsanslutningar till matande nät.

35

För att ytterligare redovisa fördelarna med en konstantfrekvensmaskin med varierande/varierbart varvtal enligt uppfinningen visas i följande tabell en relativ effektjämförelse med utgångspunkt från en given skenbar märkeffekt  $S_n$  för de redovisade utföringsformerna. Jämförelsen avser summaeffekt för de roterande maskinerna, ROT, summaeffekt för ingående transformatorer, TRAFO, summaeffekt för ingående strömriktare, SR, summan av via släppringar överförd effekt, SL samt uteffekt, UE. (T.S.) respektive (U.F.) betyder att figuren tillhör teknikens standpunkt eller uppfinningen.

40

5	Maskin enligt	ROT	TRAFO	SR	SL	UE
	Figur 2 (T.S.)	$S_n$	$S_n$	$0,05 S_n$	0	$S_n$
	Figur 3 (T.S.)	$S_n$	0	$0,05 S_n$	0	$S_n$
	Figur 5 (T.S.)	$2,2 S_n$	$S_n$	$0,2 S_n$	$1,15 S_n$	$1,1 S_n$
	Figur 6 (T.S.)	$1,3 S_n$	$1,4 S_n$	$0,4 S_n$	$0,4 S_n$	$1,1 S_n$
10	Figur 9 (U.F.)	$1,3 S_n$	$S_n$	$0,3 S_n$	0	$1,1 S_n$
	Figur 10 (U.F.)	$1,3 S_n$	0	$0,3 S_n$	0	$1,1 S_n$

Maskin enligt figur 2:

Samtliga "större" tillverkare av elgeneratorer kan tillverka  
15 konstantvarvsmaskiner med fulleffekts step-up-transformator med borstlös  
matare. I en anläggning enligt figuren utförs elkraftgeneratoren 1 och step-up-  
transformatorn 8 för samma skenbara märkeffekt  $S_n$ .  
Standardkonceptet för en anläggning är att för det borstlösa utförandet  
20 använda en medroterande matare med strömriktare/vs-ls-omvandlare 5 för  
att mata fältlindningen 3 i rotorn. Strömriktarens typeffekt blir till viss del  
beroende av spänningsregleringens dynamiska krav. Typiska värden är dock  
att den dimensioneras för 5 % av elgeneratorns effekt. Maskinen har inga  
släpringar för överföring av likströmsmagnetiseringen till fältlindningen.

25 Maskin enligt figur 3:

Detta är en maskin enligt tidigare redovisade WO 97/45919, dvs en  
elgenerator 1 för högspänning där anläggningen ej behöver någon step-up-  
transformator. Den medroterande strömriktarens typeffekt blir som ovan,  
dvs ca 5 % av den skenbara märkeffekten. Magnetiseringen kan ske utan  
30 släpringar.

Maskin(-er) enligt figur 5:

En uppskattning av summan av den skenbara märkeffekten för de roterande  
maskinerna ger vid handen att den blir ca  $2,2 \cdot S_n$ . Utan att närmare  
35 specificera underlaget för denna bedömning kan konstateras att eftersom  
maskinen/omformaren 11 skall ha märkeffekten  $S_n$ , likväl som  
transformatorn 8, så måste maskin 1 dimensioneras för samma effekt plus  
den reaktiva effekt som maskin 11 förbrukar. Summan av de roterande  
maskinernas effekt måste dessutom innefatta den effekt som går åt för att  
40 driva maskin 15, dvs omvandlarens drivkälla.

- 5 Summa strömriktareffekt för vs-vs-omvandlaren 16 och för likströmsmagnetisering av maskin 1 uppskattas till  $ca\ 0,2 \cdot S_n$ .

- 10 Total effekt genom släpringarna blir den från maskin 1 till maskin 11 överförda skenbara effekten som uppskattas till  $ca\ 1,15 \cdot S_n$  utgående från en kortslutningsreaktans hos maskin 11 på 0,15 pu. Seriekondensatorerna som nämns i EP 0749190 får också värdet 0,15 pu. Som tidigare redovisats ställs det mycket höga krav på släpringarnas effektöverföringsförmåga.

Maskin enligt figur 6:

- 15 Som tidigare redovisats är detta ett system baserat på Scherbius-kaskaden där den roterande elmaskinen/elgeneratoren 1 antas vara utförd med släpringar 19 till kaskaden. Vs-vs-omvandlaren 17, dvs strömriktaren i kaskaden, dimensioneras för aktuellt reglerområde samt för den reaktiva effekt som den förbrukar. Den installerade märkeffekten för strömriktaren 20 kan således uppskattas till  $ca\ 0,4 \cdot S_n$  vilket också motsvarar den totala effekten genom släpringarna. Den roterande maskinens skenbara märkeffekt kommer följaktligen att bli  $ca\ 1,3 \cdot S_n$  och den totalt installerade märkeffekten för transformatorerna  $ca\ 1,4 \cdot S_n$ .

- 25 Maskiner enligt figurena 10, 11a och 11b :

- Dessa figurer representerar en maskin enligt rubricerade uppfinning, dvs en "Konstantfrekvensmaskin med variabelt/varierbart varvtal". Sammanfattningsvis innefattar maskinen en första elmaskin 1 kallad huvudmaskin och en andra elmaskin 27 kallad reglermaskin med en gemensam mekanisk axel 2 och en medroterande strömriktare/vs-vs-omvandlare 28.

- 30 Huvudmaskinen 1 kan enligt figur 10 utföras med för elgeneratorer "konventionell" högspänning, dvs upp till 25 kV och step-up-transformator 8 eller den kan enligt figur 11a utföras med högspänningslindning varvid step-up-transformatorn elimineras. Eftersom det inte internt cirkulerar reaktiv effekt via huvudmaskinens stator blir typeffekten för 35 vs-vs-omvandlaren för samma reglerområde som för maskinen enligt figur 6 mindre, uppskattningsvis  $ca\ 0,3 \cdot S_n$ . Reglermaskinens märkeffekt blir följaktligen också  $0,3 \cdot S_n$  och den roterande maskinens totala skenbara märkeffekt  $1,3 \cdot S_n$ . Transformatorns 8 märkeffekt i figur 10 blir  $1,0 \cdot S_n$ .

- 40 Maskiner enligt uppfinningen innefattar således inga släpringar.

En konstantfrekvensmaskin enligt uppfinningen har till skillnad från de under teknikens ståndpunkt redovisade utföringsformerna en fördel som innebär att start- och accelerationsförutsättningarna väsentligt förbättras. Det

5 har tidigare redovisats att reglermaskinens statorlindning kan utformas som  
en växelströmslindning för att, t ex via en hjälplindning i huvudmaskinens  
stator, medge tillförsel av magnetiseringseffekt för reglermaskinen under  
drift. Det antyds också i det sammanhanget att en växelströmslindning i  
10 reglermaskinens stator förbättrar startförutsättningarna då konstantfrekvens-  
maskinen används som motor. Om reglermaskinens statorlindning utformas  
som en trefaslindning kan under startförloppet yttre varierbart motstånd  
anslutas till lindningens anslutningar för att styra startströmmens storlek och  
till huvudsakligen resistiv fasvinkel samt för att föra bort med startförloppet  
15 förknippade förluster hos huvudmaskinen. Detta kan ske genom att koppla  
strömriktaren som en vs-flerfaskopplare. I princip kan start även ske på så  
sätt att reglermaskinens statorlindning ansluts direkt till ett kraftnät och att  
rotorlindningarna hos reglermaskin och huvudmaskin via strömriktaren  
kopplas ihop och att yttre varierbart motstånd ansluts till huvudmaskinens  
statorlindning. Genom att under startförloppet styra den medroterande  
20 strömriktaren som vs-fasvinkel-/spänningsregulator kan det yttre motståndet  
vara ett fast motstånd. Både huvudmaskinen och reglermaskinen fungerar i  
en sådana kopplingar som roterande transformatorer. En närmare  
beskrivning av startkopplingar kommer att redovisas under beskrivningen av  
utföringsformer.

25 För ett normalt varvtalsreglerområde och normal kapacitet avseende reaktiv  
effekt hos konstantfrekvensmaskinen dimensioneras reglermaskinen för ca  
30 % av huvudmaskinens effekt. Detta medger en möjlighet att vid start  
använda reglermaskinen som en startmotor vars statorlindning matas från en  
30 separat frekvensomriktare. En förutsättning är då att den medroterande  
strömriktaren är kopplad som en vs-kortslutare av reglermaskinens  
rotorlindningar. En sådan koppling kommer också att redovisas under  
beskrivningen av utföringsformer.

35 Dessa alternativa startmetoder medför att övre effektgräns för motordrifter  
vid start på svaga kraftnät kan höjas till minst 40 MW.

Tekniskt sett fungerar huvudmaskinens stator- och rotorlindningar med  
respektive stator- och rotorkärnor som en enhet som

40

♦ skapar moment och roterande rörelse

- 5     ♦ anpassar inkommande hög-/mellanspänning till mellan-/lågspänning som är optimal för såväl den medroterande vs-vs-omvandlaren som reglermaskinen
- 10    ♦ bildar en "step-down"-effekttransformator mellan elkraftnätet och kraftelektroniken
- 15    ♦ med högspänningskabel i statorn kan ha ett omsättningsförhållande mellan statorspänningen och rotorspänningen som kan uppgå till 100 – 300 gånger utan att kapacitivt orsakade förstärkningar av högfrekventa spänningar från/till elkraftnätet eller hjälpkraftlindningen uppträder
- 20    ♦ med huvudmaskinens lindningar och kärnor filtrerar de i vs-vs-omvandlaren alstrade och mot huvudmaskinen vända under-/övertoner i ström och förhindrar således dessa från att överföras till elkraftnätet via huvudmaskinens statorlindning.

Tekniskt sett fungerar reglermaskinens stator- och rotorlindningar med respektive stator- och rotorkärnor som en enhet som

- 25    ♦ via lämpligt val av poltal skapar en högre frekvens, 50 – 150 Hz, än det matande kraftnätet och därvid
- 30    ♦ vid normal drift ger förutsättningar för en bra sinusform för den via vs-vs-omvandlaren alstrade rotorströmmen hos huvudmaskinen
- 35    ♦ med reglermaskinens lindningar och kärnor vid normal drift filtrerar de i vs-vs-omvandlaren alstrade och mot reglermaskinen vända under-/övertoner i ström och förhindrar således dessa från att överföras via reglermaskinens statorlindning och hjälpspänningslindningen på huvudmaskinen till elkraftnätet respektive via reglermaskinens statorlindning till extern matningskälla
- 40    ♦ vid transienta förlopp som start och kontrollerad bromsning och stopp fungerar som en "roterande transformator" som leder de därvid associerade förlusterna från de roterande delarna av huvudmaskinen till yttre motstånd.

- 5 En beskrivning av de tekniska funktionerna hos den medroterande strömriktaren redovisas under beskrivningen av utföringsformer.

## RITNINGSFÖRTECKNING

- 10 Figur 1 visar blockscheman över de strömriktare som förekommer i beskrivningen.

- Figur 2 visar principiellt hur borstlösa matare för likströms magnetisering kommer till användning i samband med konventionella elgeneratorer, dvs  
15 med spänning upp till 25 kV.

- Figur 3 visar principiellt hur borstlösa magnetiseringsmatare kommer till användning i samband med elgeneratorer utformade enligt WO 97/45919, dvs med än högre spänningar.

- 20 Figur 4 visar principiellt hur borstlösa magnetiseringsmatare kommer till användning i samband med elgeneratorer utformade enligt W097/45907, dvs som en högspänningsgenerator med 2x3-fas för matning av en HVDC-anläggning.

- 25 Figur 5 visar principiellt den elkraftgenererande delen av en anläggning som framgår av US 5,742,515, "Asynchronous conversion method and apparatus for use with variable speed turbine hydroelectric generation".

- 30 Figur 6 visar principiellt den elkraftgenererande delen av en anläggning som framgår av en artikel där "ABB Varspeed generator boosts efficiency and operating flexibility of hydropower plant".

- Figur 7 visar principiellt hur en statisk Kramerdrift är utformad.

- 35 Figur 8 visar principiellt hur en statisk Scherbiusdrift är utformad.

- Figur 9 visar hur yttre rotormotstånd ansluts till rotorlindningen via släpringar under ett startförlopp.

- 40 Figur 10 visar en principiell utföringsform av en maskin enligt uppfinningen använd som elgenerator för konventionell högspänning, dvs för spänningar upp till 25 kV.

5     Figur 11a visar en principiell utföringsform av en maskin enligt uppfinningen använd som elgenerator utformad enligt WO 97/45919, dvs med än högre spänningar.

10    Figur 11b visar en utföringsform av en axiell ändvy av en maskin enligt uppfinningen använd som elgenerator för högspänning med motsvarighet till maskiner enligt WO 97/45919.

15    Figur 12 visar en principiell utföringsform av en maskin enligt uppfinningen använd som motor för konventionell högspänning, dvs för spänningar upp till 25 kV.

20    Figur 13 visar ett principiellt kopplingsschema för både huvudmaskinens och reglermaskinens lindningar med den medroterande strömriktaren i form av en matrisomvandlare med dubbelriktade ventiler.

25    Figur 14 visar exempel på alternativa dubbelriktade styrbara/släckbara ventiler.

30    Figur 15 visar ett principiellt kopplingsschema för både huvudmaskinens och reglermaskinens lindningar med den medroterande strömriktaren i form av en spänningsstyv direktomvandlare med antiparallellkopplade tyristorbryggor.

35    Figur 16 visar ett principiellt kopplingsschema för huvudmaskinens och reglermaskinens lindningar samt indikering av den medroterande strömriktarens olika funktioner.

40    Figur 17 visar ett principiellt kopplingsschema för huvudmaskinens och reglermaskinens lindningar samt indikering av den medroterande strömriktarens funktion då ett yttre varierbart motstånd är anslutet till reglermaskinens statorlindning.

45    Figur 18 visar ett principiellt kopplingsschema för start med yttre motstånd anslutet till reglermaskinens statorlindning och med strömriktaren i form av en matrisomvandlare nyttjad som en vs-flerfaskopplare.

50    Figur 19 visar ett principiellt kopplingsschema för start med yttre motstånd anslutet till reglermaskinens statorlindning och med strömriktaren i form av antiparallellkopplade tyristorbryggor nyttjade som en vs-flerfaskopplare.

5

Figur 20 visar en startkoppling av huvudmaskinen med reglermaskinen som startmotor vars statorlindning matas från en separat frekvensomriktare.

10

Figur 21 visar hur huvudmaskinens stator är försedd med en lindning för hjälpspänningsmatning av reglermaskinens stator.

## BESKRIVNING AV UTFÖRINGSFORMER

15

Den i konstantfrekvensmaskinen enligt uppfinningen för huvudfunktionen ingående kraftelektroniken finns i de roterande delarna av maskinen.

20

Optimala spänningsnivåer i rotorkretsarnas lindningar bestäms, oberoende av nätspänningen, främst av krafthalvledarnas maximalt tillåtna spänningsnivåer och aktuell koppling samt med och utan seriekopplade halvledare. När det gäller huvudmaskinens statorlindning finns däremot inga sådana begränsningar. Den kan därför tillverkas för direkt anslutning till högspända elkraftnät. Detta möjliggörs genom att statorlindningen tillverkas/lindas med högspänningskablar, bl a enligt WO 97/45919. Statorns laminerade magnetkrets skall därför först beskrivas med utgångspunkt från användning av högspänningskablar i statorlindningen.

25

Exempel på utföringsform av en axiell ändvy 31 hos en sektor/poldelning hos en huvudmaskin enligt uppfinningen för högspänning framgår av figur 11b. Varje sektor/poldelning är på konventionellt sätt sammansatt av sektorformade elplåtar. Maskinernas stator kommer således att bestå av ett antal sektorer/poldelningar som tillsammans bildar en laminerad statorkärna. Från ett radiellt ytterst beläget ryggparti 32 av kärnan sträcker sig ett antal tänder 33 radiellt in mot rotorn. Mellan tänderna finns ett motsvarande antal spår 34. Användning av ovan nämnda högspänningskabel 35 medför bl a att spårens djup för högspänningsmaskiner görs större än vad som har krävts enligt teknikens ståndpunkt. Spåret har ett mot rotorn avtrappat tvärsnitt eftersom behovet av kabelisolation blir lägre för varje lindningsskikt in mot rotorn. Som det framgår av figuren består spåret av i huvudsak ett cirkulärt tvärsnitt 36 kring varje skikt hos lindningen med smalare midjepartier 37 mellan skikten. Ett sådant spårtvärsnitt kan med viss rätt omtalas som ett "cykelkedjespår". Eftersom det i en sådan högspänningsmaskin kommer att behövas ett relativt stort antal skikt och tillgången på aktuella kabeldimensioner vad isolation och yttre halvledare beträffar är begränsat, kan det i praktiken bli svårt att åstadkomma en önskvärd kontinuerlig avtrappning av kabelisolationen respektive statorspåret. I det i figur 11b

40



5 visade utföringsexemplet användes kablar med tre olika dimensioner på kabelisolationen, anordnade i tre i överensstämmelse därmed dimensionerade sektioner 38, 39 och 40, dvs i praktiken kommer man att ha ett modifierat cykelkedjespår. Av figuren framgår också att statortanden kan utformas med en praktiskt taget konstant radiell bredd utmed hela spårets  
10 djup. Statorn kan vara försedd med en lindning 41 för hjälpkraftsmatning, t ex för reglermaskinens statorlindning.

Eftersom även rotorn är försedd med en vs-lindning kommer dess kärna att bestå av ett, med ett från från statorn något skilt spårtal, utförande av ett  
15 antal laminerade sektorer/poldelningar med rotorspår 42 för rotorlindningen 43. Rotorlindningen skall matas från vs-vs-omvandlaren 44 med en spänning med den aktuella skillnadsfrekvensen. Rotorlindningens spänningsdimensionering blir då i huvudsak bestämd av de högsta tillåtna spänningsnivåerna i de i vs-vs-omvandlaren ingående krafthalvledarna.  
20 Detta blir i sin tur bestämmande för utformningen av rotorlindningen. Den kan således utformas enligt känd teknik för konventionella hög-/mellanspänningsmaskiner eller som den ovan anförda med högspänningskabel, dvs enligt WO 97/45919.

25 Den i figur 11a visade medroterande vs-vs-omvandlaren 44 skall kunna omvandla den relativt höga frekvensen, 50 – 150 Hz, hos den i rotorlindningen hos reglermaskinen genererade spänningen till skillnadsfrekvensen, 0 – 10 Hz, beroende på aktuellt reglerområde. Om omvandlaren utförs med kiselbaserade krafthalvledare/ventiler med en ventil  
30 i omvandlarens grenar kommer huvudmaskinens och reglermaskinens rotorlindningar att dimensioneras för 1 – 3 kV. Om omvandlaren utförs med kiselkarbidbaserade krafthalvledare/ventiler med en ventil i omvandlarens grenar blir motsvarande spänningsnivåer däremot 10 – 30 kV. Dimensionerande vad avser spänning för huvudmaskinens och  
35 reglermaskinens rotorlindningar blir tillgång till, val av och koppling, dvs utan eller med seriekoppling, av krafthalvledare för vs-vs-omvandlaren.

Figur 13 visar ett principiellt kopplingsschema för både huvudmaskinens och reglermaskinens lindningar med den medroterande vs-vs-omvandlaren i  
40 form av en matrisomvandlare med dubbelriktade ventiler. I det visade exemplet är både huvudmaskinens statorlindning 45 och rotorlindning 46 ritade som Y-kopplade trefaslindningar. Matrisomvandlaren 47, med nödvändiga shuntkondensatorer för att skapa en högfrekvensmässigt lågimpediv slinga där strömmen enkelt kan kommutera mellan faserna i

- 5 reglermaskinens rotorlindning, är kopplad mellan huvudmaskinens  
växelströmsrotorlindning och reglermaskinens växelströmsrotorlindning 48.  
De ovan nämnda "kommuteringsöverlappningarna pga "svagt nät"-karaktär  
hos de roterande lindningarna" elimineras med matrisomvandlaren och dess  
shuntkondensatorer. Reglermaskinen kan därmed utföras för lägre typeffekt.  
10 Reglermaskinens statorlindning 49 är i den visade utföringsformen visad  
som en trefaslindning.

Figur 14a, 14b och 14c anger alternativa dubbelriktade ventiler i  
matrisomvandlaren. Den följande identifieringen kräver viss fackkunskap.

- 15 Figur 14a visar en dubbelriktad ventil i form av två GTO-tyristorer eller två  
IGCT-er. Figur 14b visar en dubbelriktad ventil med två IGBT:er. Figur  
14c visar en dubbelriktad ventil med en IGBT.

Figur 15 visar ett principiellt kopplingsschema för både huvudmaskinens  
20 och reglermaskinens lindningar med den medroterande vs-vs-omvandlaren i  
form av en spänningsstyv direktomvandlare med antiparallellkopplade  
tyristorbryggor. På samma sätt som i figur 13 är både huvudmaskinens  
statorlindning 45 och rotorlindning 46 ritade som Y-kopplade  
trefaslindningar. Den spänningsstyva direktomvandlaren med  
25 antiparallellkopplade tyristorer 50 är kopplad mellan huvudmaskinens  
växelströmsrotorlindning och reglermaskinens växelströmsrotorlindning 48.  
På samma sätt som för matrisomvandlaren kan, för att underlätta  
kommuteringen, även här kondensatorer serie- eller shuntkopplas mellan  
reglermaskinens rotorlindning och vs-vs-omvandlaren respektive mellan  
30 huvudmaskinens rotorlindning och vs-vs-omvandlaren. De kan också  
anslutas i serie och/eller parallellt till inre uttag inne i reglermaskinens  
rotorlindning. Inkoppling av kondensatorer på detta sätt innebär att  
reglermaskinen kan utföras för lägre typeffekt. Reglermaskinens  
statorlindning 49 är i den visade utföringsformen även här visad som en  
35 trefaslindning.

Som det har omtalats tidigare finns inom ramen för uppfinningen ett flertal  
olika alternativa utföringsformer för både huvudmaskinens och  
reglermaskinens lindningar.

40

När det gäller huvudmaskinens statorlindning är en föredragen  
utföringsform en trefaslindning som den i figurerna 13 och 15 visade, dvs en  
konventionell Y-kopplad lindning. Då maskinen är aktuell i en HVDC-  
anläggning kommer statorlindningen att utformas med 2x3-faslindning med

- 5 30 graders fasförskjutning som bl a framgår av figur 4. Andra lindnings-  
former, t ex 1-fas, 2-fas och flerfas, 2x2-fas m fl kan bli aktuella för  
specifika ändamål. Vad statorlindningens spänningsnivå beträffar kan  
maskinen dimensioneras för konventionell "maskin"-högspänning, dvs upp  
till 25 kV, eller den kan med högspänningskabel dimensioneras för  
10 väsentligt högre spänningar. I vissa applikationssammanhang kan statorn  
förses med en extra lindning för alstring av hjälpkraft till t ex  
reglermaskinens styrning/reglering m m vilket bl a visas i figur 21.

- I en föredragen utföringsform är också huvudmaskinens växelströms-  
15 rotorlindning en Y-kopplad trefaslindning, som de i figurerna 13 och 15  
visade. Även här kan av olika skäl trefaslindningen D-kopplas, lindningen  
kan utformas som en 2x3-faslindning och andra tidigare omtalade  
lindningsformer kan vara aktuella.

- 20 Även när det gäller reglermaskinens växelströmsrotorlindning är den i  
figurerna 13 och 15 visade Y-kopplade trefaslindningen en föredragen  
utföringsform, men kan utföras D-kopplat eller med t ex 1-fas, 2-fas och  
flerfas, 2x3-fas, 2x2-fas m fl. Vs-vs-omvandlaren kan också matas med  
enfas växelström från reglermaskinens rotorlindning. Andra lindningsformer  
25 kan vara aktuella i samband med specifika applikationer.

- Av figurerna 13 och 15 framgår att reglermaskinens statorlindning också kan  
utformas som en Y-kopplad trefaslindning. Som omtalat tidigare kan  
reglermaskinens stator vara utformad med utpräglade poler för likströms-  
30 magnetisering och den kan även vara utformad med permanenta magneter.  
Även om statorlindningen består av en trefaslindning kan den genom viss  
omkoppling användas för likströmsmagnetisering. Utformningen av  
reglermaskinens statorlindning bestäms ofta av hur maskinen skall startas  
från stillestånd upp till aktuellt varvtalsområde.

- 35 Gemensamt för aktuella tillämpningar med konstantfrekvensmaskinen är att  
lasten endast har behov av ett begränsat reglerområde kring huvudmaskinens  
synkrona varvtal.

- 40 En växelströmsmaskin enligt uppfinningen har ett stort antal tillämpnings-  
områden vad gäller motordrifter. Det finns processer med motordrifter som  
av olika skäl för närvarande inte använder varvtalsstyrning men som med  
växelströmsmaskiner enligt uppfinningen skulle kunna väsentligt förbättras.

5 Maskinens statorlindning kan dimensioneras för anslutning till matande kraftnät med spänning från etablerad lågspänning upp till klassiska högspänningsnivåer. Bestämmande för aktuell spänning på statorlindningen är i stort sett tillgänglig nätspänning och aktuellt effektområde.

10 För motoreffekter på enstaka megawatt ansluts statorlindningen företrädesvis till en mellanspänningsnivå mellan 1 och 36 kV.

Vid märkeffekter över 10 MW kan maskinens anslutning till matande nät företrädesvis dimensioneras för 50 kV eller högre, t ex 130 kV, dvs anslutas  
15 till transmissions- och distributionsnät. Genom anslutning till dessa nätspänningsnivåer undviks framför allt höga strömkrafter och spänningsfall i kraftnätet under startförloppet.

Som omtalat i ingressen till redogörelsen för uppfinningen är den med-  
20 roterande strömriktaren omkopplingsbar för flera olika funktioner. Förutom funktionen som vs-vs-omvandlare under drift kan den också kopplas för flera funktioner i samband med start och kontrollerad stopp av konstantfrekvensmaskinen. I figur 16 visas den föredragna utföringsformen vad avser lindningarnas utformning vid drift samt en sammanfattning av  
25 strömriktarens 51 funktioner både under drift, start och stopp. Kontrollerad bromsning och stopp beskrivs senare. Strömriktarens funktioner vid reglerad drift och start är som följer:

◆ Strömriktarens funktion 51a motsvarar dess funktion under drift, dvs som  
30 en vs-vs-omvandlare enligt tidigare given definition.

◆ Strömriktarens funktion 51b motsvarar dess funktion under start som vs-flerfaskopplare som elektroniskt sammankopplar in- och utgående anslutningar för hopkoppling av huvudmaskinens och reglermaskinens  
35 rotorlindningar då yttre varierbart motstånd 52 är anslutet till reglermaskinens statorlindning enligt figur 17.

◆ Strömriktarens funktion 51c motsvarar dess funktion under start som vs-fasvinkel-/spänningsregulator mellan huvudmaskinens- och  
40 reglermaskinens rotorlindningar då yttre fast motstånd är anslutet till reglermaskinens statorlindning.

◆ Strömriktarens funktion 51d motsvarar dess funktion under start som vs-kortslutningskopplare av reglermaskinens rotorlindningar vid direkt

5       anslutning av reglermaskinens statorlindning till ett kraftnät enligt figur 18.

Figur 18 visar i övrigt ett principiellt kopplingsschema för start av konstant-  
frekvensmaskinen genom direktanslutning av huvudmaskinen till ett  
10       kraftnät. Start sker på tidigare omtalat sätt med yttre trefasigt reglerbart  
motstånd 52 kopplat till reglermaskinens trefasiga statorlindning. Ström-  
riktaren är nu kopplad som en vs-flerfaskopplare enligt 51b som samman-  
binder varje fasanslutning hos huvudmaskinens rotorlindning direkt till  
motsvarande fasanslutning hos reglermaskinens rotorlindning. Huvud-  
15       maskinens startförluster kopplas nu transformatoriskt till reglermaskinen  
som sedan via sin statorlindning överför förlusterna till de yttre motstånden.

Funktionen hos strömriktaren då den skall fungera som vs-flerfaskopplare  
kan åstadkommas på olika sätt. Figuren 18 visar i detalj hur strömriktaren är  
20       anordnad som flerfaskopplare med matrisomvandlare. Denna funktion  
erhålles genom att "tända" en ventil, den grovmarkerade, i varje gren. Figur  
19 visar funktionen som vs-flerfaskopplare med strömriktaren i form av  
antiparallellkopplade tyristorbryggor 50a och 50b. Som det framgår är det nu  
lämpligt att huvudmaskinens rotorlindning består av 2x3-faslindningar 46a  
25       och 46b för 6-puls-kopplade tyristorbryggor där varje brygga behöver förses  
med ett par antiparallellkopplade, grovmarkerade, tyristorer och med  
motsvarande rotorlindningar 48a och 48b hos reglermaskinen.

För ett normalt varvtalsreglerområde hos konstantfrekvensmaskinen  
30       dimensioneras reglermaskinen för ca 30 % av huvudmaskinens effekt. Detta  
medger en möjlighet att vid start använda reglermaskinen som en startmotor  
vars statorlindning matas från en separat, ej medroterande, frekvens-  
omriktare 53. En förutsättning då är att den medroterande strömriktaren är  
kopplad som en vs-kortslutningskopplare, dvs som funktionen 51d, av  
35       reglermaskinens rotorlindningar. Ett sådant startkoppling med frekvens-  
omriktaren 53 visas principiellt i figur 20.

Kontrollerad bromsning från reglerområdet till stillastående utförs med  
samma huvudkretsar som för start, dvs som figurerna 18 och 19. Därvid  
40       nyttjas den medroterande strömriktaren som

- ◆ vs-flerfaskopplare, dvs som 51b ovan, mellan huvudmaskinens- och  
reglermaskinens rotorlindningar för styrning av aktiv och reaktiv effekt  
genom direkt hopkoppling av lindningarna med och/eller utan skifte av

- 5 fasföljden. Förloppet utförs genom s k motströmsbromsning och den med  
det transienta förloppet associerade effektutvecklingen sker i yttre  
variabelt motstånd 52. Dessutom får ett byte av fasföljd ske hos den till  
huvudmaskinens statorlindning anslutna växelspänningen eller som
- 10 ♦ vs- fasvinkel-/spänningsregulator, dvs som 51c ovan, varvid det yttre  
motståndet är fast och styrningen sker genom den andel av rotorkretsens  
växelström som släpps igenom. Även här måste ett byte av fasföljd ske  
hos den till huvudmaskinens statorlindning anslutna växelspänningen.
- 15 ♦ en vs-kortslutningskopplare, dvs som 51d ovan, för kontrollerad  
bromsning med hjälp av en frekvensomvandlare 53 i figur 20. Byte av  
fasföljd för anslutningen till reglermaskinens statorlindning från  
frekvensomvandlaren måste ske. Frekvensomvandlaren måste kunna  
återmata energi till kraftnätet eller utveckla bromsenergin i yttre  
20 motstånd.

I figur 21 visas hur huvudmaskinens stator är försedd med en lindning 54 för  
hjälpsspänningsmatning av reglermaskinens stator med likström via en styrd  
strömriktare 56. Vid likströmsmagnetisering av reglermaskinens stator-  
25 lindning måste en av faslindningarna vändas jämfört med anslutning till  
trefas växelströmsnät.

Ett exempel på en motordrift som med fördel skulle använda en maskin  
enligt uppfinningen är s k raffinördrifter. Enligt nuvarande teknik framställs  
30 t ex tidningspapper med konstantvarviga synkrona motorer som begränsas  
till ca 25 MW p g a problemet med start mot svaga kraftnät. En motordrift  
enligt uppfinningen skulle dessutom kunna medföra ökad produktions-  
hastighet i befintliga anläggningar.

35 Släpringade statiska Kramer- och Scherbiusdrifter för pumpar och fläktar  
skulle med fördel kunna ersättas av maskiner enligt uppfinningen.

Vindtunneldrifter är ett exempel på högeffektanläggningar på över 100 MW  
som är väl lämpade för växelströmsmaskiner enligt uppfinningen. Dessa  
40 utförs f n som varvtalsreglerade system med synkronmaskiner med  
utpräglade poler och strömmellanledsströmriktare för full effekt.

Reglermaskinen statorlindning kan under drift vara ansluten till ett lågeffekts

- 5 likströmsnät eller till ett växelströms en- eller trefasnät. Dessa nät kan  
anordnas genom att nyttja den ovan nämnda hjälpkraftlindningen i  
huvudmaskinens stator. Detta innebär att konstantfrekvensmaskinen har en  
enda anslutning till matande kraftnät varvid man spar en transformator. Om  
10 inte yttre motstånd kommer till användning under startförloppet kan  
reglermaskinen utföras med permanenta magneter.

- Parallellkoppling av krafthalvledare respektive parallellkoppling av  
strömriktarmoduler för t ex 2x3-fas är att föredra för drifter utförda med  
maskiner enligt uppfinningen. Om rotorspänningen väljs inom området  
15 1 - 15 kV, dvs om lindningarna är utformade som plock- eller formhärv-  
lindningar, erhålls god fyllfaktor för maskinernas rotorspår. Än högre  
rotorspänningar på upp till flera tiotals kV, dvs för maskiner enligt  
WO 97/45919, kan bli aktuella då krafthalvledarna för vs-vs-omvandlaren  
kommer upp till sådana nivåer.

## 5 PATENTKRAV

1. Konstantfrekvensmaskin med varierande/varierbart varvtal innefattande minst en första och en andra roterande elektrisk maskin med en gemensam axel och en på axeln medroterande strömriktare k ä n n e t e c k n a d av att  
10 den första elektriska maskinen (1), huvudmaskin, innefattar en stator och en rotor och att både stator och rotor är anordnad med växelströmslindningar (3, 7, 20, 21, 45, 46),

att den andra roterande elektriska maskinen (27), reglermaskin, innefattar en  
15 stator och en rotor och att rotorn är anordnad med en växelströmslindning (29, 48),

att strömriktaren (28, 51), innefattande ett antal grenar med ventiler, är kopplad mellan huvudmaskinens och reglermaskinens rotorlindningar och  
20 att den under drift är anordnad som en vs-vs-omvandlare (51a) och att den under start är anordnad som en vs-flerfaskopplare (51b) eller som en vs-fasvinkel-/spänningsregulator (51c) eller som en vs-kortslutningsomkopplare (51d) och att den under kontrollerad bromsning och stopp är anordnad som  
25 en vs-flerfaskopplare (51b) eller som en vs-fasvinkel-/spänningsregulator (51c), eller som en vs-kortslutningskopplare (51d) och

att huvudmaskinens statorlindning (7, 20, 45) är ansluten till ett växelspännings kraftnät.

30 2. Konstantfrekvensmaskin med varierande/varierbart varvtal enligt patentkrav 1, k ä n n e t e c k n a d av att, då maskinen arbetar som elgenerator upprätthålls en konstant frekvens hos huvudmaskinens till kraftnätet matande spänning vid varierande varvtal genom att vs-vs-omvandlaren (51a) matar huvudmaskinens rotorlindning (3, 21, 46) med en  
35 spänning med en frekvens som svarar mot skillnadsfrekvensen  $f_c$  mellan elgeneratorns synkrona frekvens  $f_r$  vid aktuellt varvtal  $n_r$  och kraftnätets nominella frekvens  $f_s$ .

40 3. Konstantfrekvensmaskin med varierande/varierbart varvtal enligt patentkrav 1, k ä n n e t e c k n a d av att, då maskinen arbetar som motor maskinens önskade varvtal erhålls genom att vs-vs-omvandlaren (51a) matar huvudmaskinens rotorlindning (3, 21, 46) med en spänning med en frekvens som svarar mot skillnadsfrekvensen  $f_c$  mellan matande kraftnäts frekvens  $f_s$  och maskinens synkrona frekvens  $f_r$  vid önskat varvtal  $n_r$ .



- 5 4. Konstantfrekvensmaskin med varierande/varierbart varvtal enligt patentkrav 1, k ä n n e t e c k n a d av att omsättningsförhållandet mellan statorlindning och rotorlindning är anpassat till förhållandet mellan elkraftnätets spänning och maximal tillåten spänning hos strömriktaren med en ventil i varje av vs-vs-omvandlarens grenar.
- 10 5. Konstantfrekvensmaskin med varierande/varierbart varvtal enligt patentkrav 1, k ä n n e t e c k n a d av att huvudmaskinens statorlindning (7, 20, 45) är utförd av minst en kabel.
- 15 6. Konstantfrekvensmaskin med varierande/varierbart varvtal enligt patentkrav 1 och 5, k ä n n e t e c k n a d av att då huvudmaskinens statorlindning (7, 20, 45) är utförd av minst en kabel är kabeln/kablarna av högspänningstyp.
- 20 7. Konstantfrekvensmaskin med varierande/varierbart varvtal enligt patentkrav 1, k ä n n e t e c k n a d av att huvudmaskinens statorlindning (7, 20, 45) är direkt ansluten till växelspanningsnätet.
- 25 8. Konstantfrekvensmaskin med varierande/varierbart varvtal enligt patentkrav 1, k ä n n e t e c k n a d av att huvudmaskinens statorlindning (7, 20, 45) är ansluten till växelspanningsnätet via en transformator (8).
- 30 9. Konstantfrekvensmaskin med varierande/varierbart varvtal enligt patentkrav 1, k ä n n e t e c k n a d av att huvudmaskinens statorlindning (7, 20, 45) är utformad som en 3-faslindning, 2-faslindning, en 2 x 3-faslindning eller av ett valfritt antal faslindningar.
- 35 10. Konstantfrekvensmaskin med varierande/varierbart varvtal enligt patentkrav 1, k ä n n e t e c k n a d av att huvudmaskinens stator förutom statorlindningen (7, 20, 45) som är ansluten till växelspanningsnätet är anordnad med en hjälplindning (41) för alstring av växelspanningshjälpkraft.
- 40 11. Konstantfrekvensmaskin med varierande/varierbart varvtal enligt patentkrav 1, k ä n n e t e c k n a d av att huvudmaskinens rotorlindning (3, 21, 46) är utformad som en 3-faslindning, 2-faslindning, en 2 x 3-faslindning eller av ett valfritt antal faslindningar.
12. Konstantfrekvensmaskin med varierande/varierbart varvtal enligt patentkrav 1, k ä n n e t e c k n a d av att reglermaskinens rotorlindning (3,

5 21, 46) är utformad som en 3-faslindning, 2-faslindning, en 2 x 3-faslindning eller av ett valfritt antal faslindningar.

13. Konstantfrekvensmaskin med varierande/varierbart varvtal enligt patentkrav 1, k ä n n e t e c k n a d av att reglermaskinens stator är utformad  
10 med en likströmslindning (30, 49).

14. Konstantfrekvensmaskin med varierande/varierbart varvtal enligt patentkrav 1, k ä n n e t e c k n a d av att reglermaskinens statorlindning (30, 49) är utformad som en växelströmslindning för 3-faslindning, 2-  
15 faslindning, en 2 x 3-faslindning eller av ett valfritt antal faslindningar.

15. Konstantfrekvensmaskin med varierande/varierbart varvtal enligt patentkrav 1, k ä n n e t e c k n a d av att vs-vs-omvandlaren (28, 51) är anordnad att arbeta med varierande både in- och utfrekvenser.  
20

16. Konstantfrekvensmaskin med varierande/varierbart varvtal enligt patentkrav 1, k ä n n e t e c k n a d av att vs-vs-omvandlaren (28, 51) är anordnad att arbeta med varierande kvot mellan dess in- och utfrekvenser.

25 17. Konstantfrekvensmaskin med varierande/varierbart varvtal enligt patentkrav 1, k ä n n e t e c k n a d av att vs-vs-omvandlaren (28, 51) är självkommuterad.

30 18. Konstantfrekvensmaskin med varierande/varierbart varvtal enligt patentkrav 1, k ä n n e t e c k n a d av att vs-vs-omvandlaren (28, 51) är maskinkommuterad.

35 19. Konstantfrekvensmaskin med varierande/varierbart varvtal enligt patentkrav 1, k ä n n e t e c k n a d av att vs-vs-omvandlaren (28, 51) kommuteras av reglermaskinen.

20. Konstantfrekvensmaskin med varierande/varierbart varvtal enligt patentkrav 1, k ä n n e t e c k n a d av att vs-vs-omvandlaren (28, 51) är utformad som en matrisomvandlare (47).  
40

21. Konstantfrekvensmaskin med varierande/varierbart varvtal enligt patentkrav 1, k ä n n e t e c k n a d av att vs-vs-omvandlaren (28, 51) är utformad som en direktomvandlare med antiparallellkopplade tyristorbryggor (50).

- 5 22. Konstantfrekvensmaskin med varierande/varierbart varvtal enligt patentkrav 1, k ä n n e t e c k n a d av att seriekondensatorer är kopplade mellan vs-vs-omvandlaren (28, 47, 50, 51) och reglermaskinens rotorlindningar (29, 48).
- 10 23. Konstantfrekvensmaskin med varierande/varierbart varvtal enligt patentkrav 1, k ä n n e t e c k n a d av att shuntkondensatorer är kopplade mellan vs-vs-omvandlaren (28, 47, 50, 51) och reglermaskinens rotorlindningar (29, 48).
- 15 24. Konstantfrekvensmaskin med varierande/varierbart varvtal enligt patentkrav 1, 21 och 22, k ä n n e t e c k n a d av att kondensatorerna ansluts i serie och/eller parallellt till reglermaskinens rotorlindningar (29, 48).
- 20 25. Konstantfrekvensmaskin med varierande/varierbart varvtal enligt patentkrav 1, k ä n n e t e c k n a d av att vs-vs-omvandlaren (28, 51) är utformad med likströms-/likspänningsmellanled.
- 25 26. Konstantfrekvensmaskin med varierande/varierbart varvtal enligt patentkrav 1, k ä n n e t e c k n a d av att reglermaskinen under kontrollerad start/ bromsning/stopp är anordnad som en start-/bromsmotor vars statorlindning (49) är ansluten till en extern frekvensomriktare (53) och vars rotorlindning (48) är kortsluten av konstantfrekvensmaskinens strömriktare kopplad som vs-kortslutningskopplare (51d).
- 30 27. Konstantfrekvensmaskin med varierande/varierbart varvtal enligt patentkrav 1, k ä n n e t e c k n a d av att vid start/stopp är huvudmaskinens statorlindning kopplad till kraftnätet, huvudmaskinens rotorlindning är kopplad till reglermaskinens rotorlindning via strömriktaren anordnad som vs-flerfaskopplare (51b) och reglermaskinens statorlindning (49) är kopplad  
35 till yttre reglerbara motstånd.
- 40 28. Konstantfrekvensmaskin med varierande/varierbart varvtal enligt patentkrav 1, k ä n n e t e c k n a d av att vid kontrollerad start/ bromsning/stopp är huvudmaskinens statorlindning kopplad till kraftnätet, huvudmaskinens rotorlindning är kopplad till reglermaskinens rotorlindning via strömriktaren anordnad som vs-fasvinkel-/spänningsregulator (51c) och reglermaskinens statorlindning (49) är kopplad till yttre fasta motstånd
29. Förfarande vid användning av en medroterande strömriktare

5 (28, 51) anordnad mellan en huvudmaskins (1) och en reglermaskins (27) rotorlindningar (3, 29) hos en konstantfrekvensmaskin vars huvudmaskin är försedd med en statorlindning anslutet till ett kraftnät enligt patentkrav 1, vilket förfarande k ä n n e t e c k n a s av att

10 vid drift styrs strömriktaren som en vs-vs-omvandlare (51a) och

vid start kopplas strömriktaren som en vs-flerfaskopplare (51b) eller som en vs-fasvinkel-/spänningsregulator (51c) eller som en vs-kortslutningskopplare (51d) och

15 vid kontrollerad bromsning och stopp kopplas strömriktaren som en vs-flerfaskopplare (51b) eller som en vs-fasvinkel-/spänningsregulator (51c) eller som en vs-kortslutningskopplare.

20 30. Förfarande vid användning av den medroterande strömriktaren enligt patentkrav 29 då konstantfrekvensmaskinen vid drift används som elgenerator, k ä n n e t e c k n a t av att vs-vs-omvandlaren anordnas att förse huvudmaskinens rotorlindning (3, 21, 46) med en spänning med en frekvens som svarar mot skillnadsfrekvensen mellan elgeneratorns synkrona frekvens  
25 vid aktuellt varvtal och kraftnätets nominella frekvens.

31. Förfarande vid användning av den medroterande strömriktaren enligt patentkrav 29 då konstantfrekvensmaskinen vid drift används som motor, k ä n n e t e c k n a t av att vs-vs-omvandlaren (51a) anordnas att förse  
30 huvudmaskinens rotorlindning (3, 21, 46) med en spänning med en frekvens som svarar mot skillnadsfrekvensen mellan matande kraftnäts frekvens och maskinens synkrona frekvens vid önskat varvtal.

32. Förfarande vid användning av den medroterande strömriktaren enligt  
35 patentkrav 29 vid start och stopp, k ä n n e t e c k n a t av att vs-flerfaskopplaren (51b) anordnas för direkt hopkoppling av huvudmaskinens och reglermaskinens rotorlindningar.

33. Förfarande vid användning av den medroterande strömriktaren enligt  
40 patentkrav 29 vid start och kontrollerad bromsning och stopp, k ä n n e t e c k n a t av att vs-fasvinkel-/spänningsregulatorn (51c) anordnas att kontrollerat överföra huvudmaskinens rotorförluster via reglermaskinen till yttre motstånd.

- 5 34. Förfarande vid användning av den medroterande strömriktaren enligt  
patentkrav 29 vid start, broms och/eller stopp, k ä n n e t e c k n a t av att vs-  
kortslutningskopplaren (51d) anordnas att kortsluta reglermaskinens  
rotorlindningar.

10

15

20

25

30

35

40

5 SAMMANDRAG

Konstantfrekvensmaskin med varierande/varierbart varvtal som innefattar en huvudmaskin (1) och en reglermaskin med gemensam axel (2) och en med-  
10 roterande strömriktare (28, 51) kopplad mellan huvudmaskinens och  
reglermaskinens rotorlindningar (3, 29) och att strömriktaren under drift är  
anordnad som en vs-vs-omvandlare och att den under start är anordnad som  
en vs-flerfaskopplare eller som en vs-fasvinkel-/spänningsregulator eller  
15 som en vs-kortslutningskopplare och att den under kontrollerad bromsning  
och stopp är anordnad som en vs- flerfaskopplare eller som en vs-fasvinkel-  
/spänningsregulator eller som en vs-kortslutningskopplare.

(Fig 16)

## INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(51) International Patent Classification <sup>7</sup> :

H02K 19/38, H02P 9/08

A1

(11) International Publication Number:

WO 00/67363

(43) International Publication Date:

9 November 2000 (09.11.00)

(21) International Application Number: PCT/SE00/00724

(22) International Filing Date: 17 April 2000 (17.04.00)

(30) Priority Data:  
9901553-9 30 April 1999 (30.04.99) SE

(71) Applicant (for all designated States except US): ABB AB  
[SE/SE]; S-721 83 Västerås (SE).

(72) Inventor; and

(75) Inventor/Applicant (for US only): GERTMAR, Lars [SE/SE];  
Humlegatan 6, S-722 26 Västerås (SE).

(74) Agents: LARSON, Håkan et al.; ABB AB, Patentsbergsgatan  
2, Gideonsbergsgatan 2, Tegnérområdet, S-721 78 Västerås  
(SE).

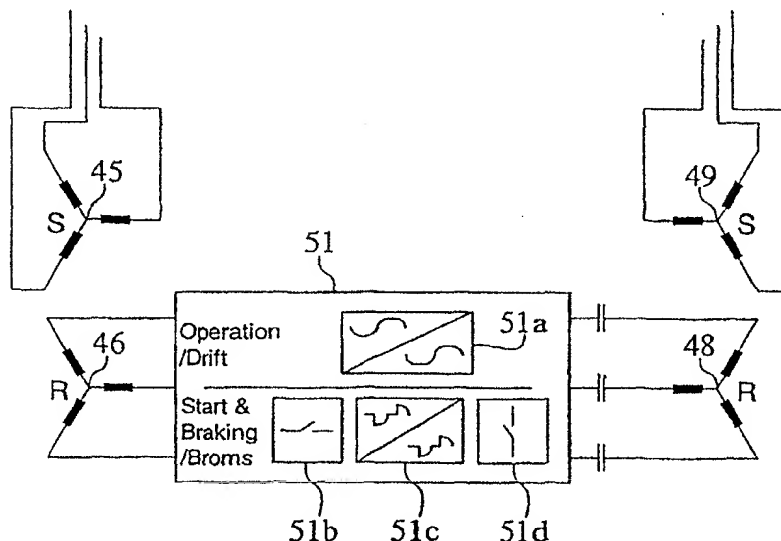
(81) Designated States: AE, AG, AL, AM, AT, AT (Utility model),  
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CR, CU,  
CZ, CZ (Utility model), DE, DE (Utility model), DK, DK  
(Utility model), DM, DZ, EE (Utility model), ES, FI, FI  
(Utility model), GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL,  
IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT,  
LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL,  
PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SK (Utility model), SL,  
TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW,  
ARIPO patent (GH, GM, KE, LS, MW, SD, SL, SZ, TZ,  
UG, ZW), Eurasian patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD,  
RU, TJ, TM), European patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK,  
ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI  
patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR,  
NE, SN, TD, TG).

Published

With international search report.

In English translation (filed in Swedish).

(54) Title: A CONSTANT-FREQUENCY MACHINE WITH A VARYING/VARIABLE SPEED



(57) Abstract

A constant-frequency machine with a varying/variable speed which comprises a main machine (1) and a regulating machine with a com on shaft (2) and a converter (28, 51) which rotates with the shaft and is connected between the rotor windings (3, 29) of the main machine and the regulating machine, and wherein the converter, during operation, is arranged as an ac-to-ac converter, and wherein, during starting, it is arranged as an ac polyphase coupler or as an ac phase-angle/voltage regulator or as an ac short-circuit coupler, and wherein, during controlled braking and stopping, it is arranged as an ac polyphase coupler, or as an ac phase-angle/voltage regulator, or as an ac short-circuit coupler.

*FOR THE PURPOSES OF INFORMATION ONLY*

Codes used to identify States party to the PCT on the front pages of pamphlets publishing international applications under the PCT.

AL	Albania	ES	Spain	LS	Lesotho	SI	Slovenia
AM	Armenia	FI	Finland	LT	Lithuania	SK	Slovakia
AT	Austria	FR	France	LU	Luxembourg	SN	Senegal
AU	Australia	GA	Gabon	LV	Latvia	SZ	Swaziland
AZ	Azerbaijan	GB	United Kingdom	MC	Monaco	TD	Chad
BA	Bosnia and Herzegovina	GE	Georgia	MD	Republic of Moldova	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagascar	TJ	Tajikistan
BE	Belgium	GN	Guinea	MK	The former Yugoslav Republic of Macedonia	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Greece	ML	Mali	TR	Turkey
BG	Bulgaria	HU	Hungary	MN	Mongolia	TT	Trinidad and Tobago
BJ	Benin	IE	Ireland	MR	Mauritania	UA	Ukraine
BR	Brazil	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Iceland	MX	Mexico	US	United States of America
CA	Canada	IT	Italy	NE	Niger	UZ	Uzbekistan
CF	Central African Republic	JP	Japan	NL	Netherlands	VN	Viet Nam
CG	Congo	KE	Kenya	NO	Norway	YU	Yugoslavia
CH	Switzerland	KG	Kyrgyzstan	NZ	New Zealand	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Democratic People's Republic of Korea	PL	Poland		
CM	Cameroon	KR	Republic of Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kazakstan	RO	Romania		
CU	Cuba	LC	Saint Lucia	RU	Russian Federation		
CZ	Czech Republic	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Germany	LK	Sri Lanka	SE	Sweden		
DK	Denmark	LR	Liberia	SG	Singapore		
EE	Estonia						



A constant-frequency machine with a varying/variable speed

TECHNICAL FIELD

5 The present invention relates to an electric rotating  
alternating current (ac) machine, which in its basic  
design comprises a main machine and a regulating machine  
with a common mechanical shaft and a converter which  
rotates with the shaft and which permits brushless control  
10 of the machine. The main machine is provided with a stator  
winding connected to a distribution or transmission power  
network for medium or high voltage, that is, for 1 kV and  
up to higher voltages.

15 The invention comprises a method when using the converter  
rotating with the shaft.

The machine may be used for conversion of mechanical power  
into electric power and for conversion of electric power  
20 into mechanical power, respectively. This means that the  
machine may function both as a generator and as a motor.  
In connection with the conversion, both the active and the  
reactive power, which is associated with the actual opera-  
tion, may be controlled.

25 During generator operation, the frequency of the voltage  
generated by the stator winding may be maintained con-  
stantly equal to the mains frequency at varying speed of  
the machine.

30 During motor operation, the stator winding is connected to  
a power network. Operation with varying speed is con-  
trolled in a brushless manner by way of the regulating  
machine and the converter rotating with the shaft.

35 The invention has its primary field of application at  
large machine powers. As far as generator drives is

concerned, typical applications lie within the range of 3-300 MW. Motor drives of up to 100 MW and higher may be manufactured. Machine powers both below and above the power ranges mentioned may be advantageously used.

5

The machine may be used in connection with hydroelectric machines, pump power plants, wind power plants, gas and steam turbines and as reactive-power compensator, power flow controller and transmission link in connection with power networks, as well as drive source for various motor drives.

The described embodiments of the invention and the description of the background art show so-called radial flow machines. The machine may also wholly or partly be designed with one or more axial flow machines.

As regards machines for generation of electric power, there are a plurality of accepted terms such as electric generator, electric-power generator, hydroelectric generator, etc. In this description, these "generators" will be referred to as "electric generators", unless it is necessary from the context to specify this term more precisely.

25

#### BACKGROUND ART

Generally, ac machines may be used both for generator operation and motor operation, but the optimal embodiments differ somewhat. Thus, there is a "background art" which is specific to both operating modes.

During generator operation, the task of the machine is to generate electric power. To be able to do this, the electric generator is driven by a drive means, whereby mechanical power is transformed into electric power. Since generation of electric power is normally associated with

35

power networks, specific requirements are made for maintaining both voltage and frequency constant as well as for controlling both active and reactive power. The following description of the background art, as far as generator operation is concerned, will consequently to a large extent deal with how to achieve the desired performance relating to these parameters.

When an ac machine is used in a motor drive, electric power is converted into mechanical power where the conversion to an increasing extent is associated with speed control of the output shaft, that is, of the speed of the machine. This is particularly true of the present invention. Consequently, the description of the background art as far as motor drives are concerned will substantially deal with speed-controlled motor drives. Motor drives primarily relate to control of torque and speed of an output shaft. However, in the same way as generation, motor drives are also associated with control of both active and reactive power.

A significant problem area as regards motor drives with ac machines is their start, that is, the start-up from zero speed to the relevant control range around synchronous speed. The description of the background art will also comprise a description of the existing start-up methods to be able to prove the improved start-up methods which are available when using ac machines according to the invention.

As described under the "TECHNICAL FIELD", the invention will comprise a converter. The description of the background art both as regards generator drives and motor drives will therefore substantially refer to embodiments where converters are included. From an electrical point of view, the converters in question will be described

with the aid of accepted basic symbols according to Figure 1, which clearly describe their function, that is, according to

5 Figure 1a which describes ac-to-dc conversion; according to

Figure 1b which describes dc-to-ac conversion; according to

10

Figure 1c which describes ac-to-ac conversion; and according to

15

Figure 1d which describes conversion from one dc voltage to another dc voltage.

20

The ac-to-ac converters which will be used for carrying out the invention are referred to, in accordance with English terminology, as "ac-to-ac bidirectional converters" and are explained in Webster's Electrical Engineering Handbook, Wiley 1999, under the sections AC-AC POWER CONVERTERS, written by Rik W. De Doncker, Aachen University of Technology. The concept ac-to-ac converter means in this connection conversion of frequency and/or amplitude.

25

30

Converter connections for large powers are currently designed mostly with silicon-based thyristors. These connections often require large reactive powers because the currents of the ac network experience a considerable phase shift relative to the voltages thereof. This implies that the dimensioning of machines for converter-based systems and of converters must take into consideration reactive power flows, that is, reactive losses in the reactances of the machines and of ac networks as well as the need of power factor correction, thus not only the

35

purely active power flows with more or less negligible active losses.

5 From a mechanical point of view, according to the state of the art, converters which will be used in connections relating to electric machines are normally constructed as units which are placed adjacent to the machine or fixedly mounted on the stator of the machine. During the last few decades, there has been a successive shift towards  
10 mounting converters fixedly on the rotating parts, that is, in or on the rotating part, for example as parts of a rotating brushless system for dc excitation of synchronous machines according to the below. In certain contexts, converter-controlled rotor resistors are also used.

15 One converter connection which is very important in the above-mentioned context is a connection according to Figure 1c, that is, a connection which relates to frequency or ac-to-ac conversion. The mode of operation of an ac-to-ac converter may be achieved in several different ways.  
20 One fundamental way is for the conversion to be performed by means of ac-dc-ac conversion, that is, with an intermediate dc link. Another way is for the conversion to be achieved by means of ac-to-ac conversion which may take  
25 place in various embodiments. Examples of such are conversion by means of so-called cycloconverters with line-commutated double converters or with so-called matrix converters with self-commutated bidirectional power semiconductors.

30 Since in this connection only the main functions as energy converters are of interest, a detailed description and control, protection etc. of converters as well as communication of signals to and from rotating parts will not be  
35 dealt with in this description.

Both with regard to generator operation and motor operation of ac machines, the well-known term synchronous speed occurs. There is an unambiguous relationship between the speed of rotation ( $n_r$ , r/min) of the rotor, the number of poles ( $p$ ) of the machine, and the frequency ( $f_s$ , Hz) of the voltage of the machine. The relationship during synchronous operation is normally described as

$$n_r = (2/p) \cdot f_s \cdot 60 \quad (1)$$

10

The immediately following part of the background art will deal with the use of ac machines as electric generators.

The starting-point is an electricity-generating unit in the form of an electric generator and a drive means, mechanically connected thereto, in the form of a turbine, a drive motor of some kind, or the like. For the electric generator to be connected to a power network and contribute to the electricity supply of the power network, it is required that the voltage of the electric generator, possibly via a transformer, should be adapted to the voltage of the power network and that the frequency of the voltage should correspond to the frequency of the power network.

25

To achieve the desired and constant frequency, it is thus required that, with a given number of poles, the unit rotates at a constant speed, which implies that the drive means must have some form of control equipment for different load conditions, etc. A varying water flow, head and network oscillations require both static and dynamic accuracy of the frequency control of the hydroelectric generator.

35

To begin with, a short description of how the magnetization systems for electric generators rotating at a "constant" speed are designed according to current

technique will be given. This is done partially by means of so-called brushless magnetization with the aid of an exciter and converter rotating with the shaft.

5 One example of a design of a brushless exciter is described in the ABB pamphlet "Brushless exciter, SEGEN/HM 8-001. It is clear from the pamphlet that the exciter is an ac machine, the stator of which is provided with salient poles and the rotor of which has a three-phase ac  
10 winding for feeding the above-mentioned converter, preferably a six-pulse converter bridge. The direct voltage, dc, of the converter is connected to the field winding of the electric generator. The voltage control of the electric generator takes place by influencing the  
15 magnetization of the exciter via its stator winding (field winding). Thus, having a converter, rotating with the shaft, for ac-to-dc conversion and dc excitation of the pole system of electric generators with a "constant" speed is known technique.

20 Figure 2 shows, in principle, how a brushless exciter is used in conventional electric generators, that is, with voltages up to 25 kV. The figure shows a vertical-shaft electric generator 1 which, on the common shaft 2, is  
25 arranged with the rotor of the electric generator with a winding 3, the rotating ac winding 4 of the exciter, a converter 5 rotating with the shaft, and a drive means in the form of a turbine 6. The stator 7 of the electric generator is connected to a high-voltage network via a  
30 step-up transformer 8. Figure 2 also shows the stationary field winding 9 of the exciter. Figure 3 shows the corresponding embodiment of the magnetization system in which the electric generator is designed as a high-voltage generator according to WO 97/45919. No transformer for  
35 connection to a high-voltage network is then needed. Otherwise, the reference numerals are the same as in Figure 2. Figure 4 shows the corresponding embodiment of

the magnetization system where the electric generator according to WO 976/45907 is designed as a 2x3-phase high-voltage generator for supplying an HVDC installation 10 with a 12-pulse connection. The reference numerals are  
5 otherwise the same as in Figure 2.

A special embodiment of dc excitation of an electric machine rotating at constant speed is described in PCT/EP98/007744, for "Power flow control" in a trans-  
10 mission line. The stator windings of the electric machine are here connected in series with the conductor of the transmission line without a connected neutral point. The rotor of the electric machine is provided with two/three dc rotor windings, displaced 90/120 electrical degrees,  
15 for control of amplitude and phase of the voltage of the electric machine. Supply of the rotor windings occurs via a magnetizing exciter rotating with the shaft and a converter/ac-to-dc converter for each one of the rotor windings.

20 According to IEC 34-1/2, normalized permissible frequency and voltage deviations exist for electric generators. To manage the apparent rated power of the electric generator, the working point of the electric generator shall  
25 lie within a so-called A-zone which (largely) is limited by +/- 2% as far as frequency is concerned and +/- 5% as far as voltage is concerned. However, the working point is allowed to lie within a so-called B-zone which (largely) is limited by +3 and -5% as far as frequency is  
30 concerned and +/- 8% as far as voltage is concerned.

For conventional electric generators with dc-magnetized poles, as stated above, a given and fixed ratio exists between the frequency of the generated voltage and the  
35 speed of rotation of the rotor at a given pole number. Connecting an electric generator to a stiff power network where the synchronous speed/frequency of the electric



generator deviates from the frequency of the network implies significantly increased losses in the electric generator. Now, if a normally working 50 Hz power network for various reasons maintains a 2% lower frequency, a  
5 connected electric generator will still work with a synchronous frequency if the speed of rotation of the rotor is 2% lower than nominal speed. Even if in this way, under certain circumstances, synchronous conditions may be obtained, a varying speed of a connected electric  
10 generator entails considerable problems, especially as it may be difficult enough to allow the speed variations to be as large as a technically-economically desirable range of deviation  $\pm 10\%$ .

15 To solve the above problems, the frequency control of electric generators with varying speed of rotation has had to be solved in other ways. For this purpose, various embodiments are available according to the state of the art, some of which will be described in the following.

20 In principle, one of the simplest ways of achieving the correct frequency for connecting an electric generator to the electrical network, where the speed of the generator varies within the above-mentioned limits, is to connect  
25 between the generator and the power network an ac-to-ac converter according to Figure 1c. From an economical point of view, however, this is a very doubtful embodiment since the ac-to-ac converter must be designed for full power.

30 The embodiments which have been used, according to the state of the art, are, however, substantially based on another principle known for such machines within electrical engineering (see, e.g., the article in Hitachi  
35 Review mentioned below). The principle will be exemplified here by means of an example of numerals based on an electric generator which is to generate a voltage of the

frequency 50 Hz. A typical hydroelectric plant is dimensioned for a basic speed of 375 r/min and consequently has 16 poles according to equation (1). If the unit for certain reasons is driven by the turbine to rotate at 360  
5 r/min, the synchronous frequency of the electric generator, upon dc excitation of the rotor poles, according to equation (1), would generate a voltage of the frequency 48 Hz.

10 If the rotor winding is designed as an ac winding and this winding is supplied with a voltage with the difference frequency between the synchronous frequency  $f_s$  at 360 r/min and the desired frequency 50 Hz, that is, with  $f_c=2$  Hz, the frequency of the electric generator will be  
15  $f_s=50$  Hz. Generally, equation (1) is converted into

$$n_r = (2/p) \cdot (f_s + f_c) \cdot 60 \quad (2)$$

where  $f_c$  is the difference frequency in question. The task  
20 of a system for maintaining the frequency of the electric generator constant is thus to ensure that, independently of the actual speed of the drive means, the rotor winding is supplied with a voltage with the actual difference frequency, both as regards subsynchronous and supersyn-  
25 chronous operation. This principle is applied in different ways or with different embodiments. Typical of known embodiments is that the rotor connections take place via three-phase slip rings which transmit the entire shaft power or a large part of the same.

30

US 5,742,515, "Asynchronous conversion method and apparatus for use with variable speed turbine hydroelectric generation", describes a hydroelectric power-generating system which generates electric power to a  
35 power network. In summary, the electricity-generating part of the system may be described on the basis of

Figure 5 where the parts included are drawn with the same figure symbols and reference numerals as in Figures 2 - 4. According to claim 19 of the US patent, the system comprises (to clarify the reference to the US patent, the terms hydro-/turbine, generator, machine, etc. are used) "a water-driven hydroturbine 6 with a hydroelectric generator 1 for generating hydroelectric power and a rotating converter 11 connected to the hydromachine for transmitting the electric power of the hydromachine to the power network. The rotating converter comprises a rotor winding 12 and a stator winding 13 of which the rotor winding or the stator winding is connected to the hydroturbine unit and the other, via a transformer 8, to the high-voltage power network....." Otherwise, the description discloses that the hydroelectric generator 1 comprises a shaft 2 which is arranged with the rotor of the hydroelectric generator with a winding 3 and the rotating ac winding 4 of an exciter. It is not clear from the figures or the text in the patent whether the "exciter power supply" (Fig. 1A, 62) is a converter rotating with the shaft or if the dc excitation takes place via a stationary converter and transmission via two slip rings. In principle, these are equivalent solutions, but for comparison with the other embodiments, Figure 5 describes that the magnetization takes place via a converter 5 rotating with the shaft. Figure 5 also shows the stationary field winding 9 of the exciter and the stator winding 7 of the hydroelectric generator. As will be clear, this part of Figure 5 is identical with Figure 2.

In other respects, the description shows that, in accordance with Figure 5, the stator power of the hydroelectric generator is transmitted via slip rings 14 on the rotating converter 11 to the rotor winding 12 thereof. The voltage induced in the stator winding 13 of the converter is connected via a transformer 8 to the power network. Thus, the task of the converter 11 is to provide

the system with the difference frequency which is necessary for the system to be able to deliver a voltage of the proper frequency to the power network at varying speed of the hydroelectric machine. In practice, this  
5 implies that, if the hydroelectric machine rotates with its synchronous speed, the converter will be stationary, that is, operate as a stationary transformer. Depending on the actual speed of the hydroelectric machine, the rotor of the converter will thus need a drive source  
10 M/G 15 in the form of a motor or a generator with an ac-to-ac converter 16. It may thus be determined that the converter 11 must be dimensioned for largely the same power as the hydroelectric generator and that the slip rings must be able to transmit the full power. The  
15 converter 11 rotates with the low difference frequency, which implies that the converter must have forced cooling with a large power loss.

The voltage control of a hydroelectric generator 1 according to the US patent document takes place via the above-mentioned dc excitation. The rotating converter 11 has in its rotor winding 12 and in its stator winding 13 leakage reactances which consume reactive power and cause voltage drops. This may be compensated for with increased dc  
25 excitation in the rotor winding 3 of the generator or may, according to the application EP 0749190 A2, associated with the US patent, be compensated for by series capacitors. From the EP application it is also clear that a typical rated voltage for the slip rings is 15 kV. The  
30 rated current for such a 100 MVA machine is thus about 4 kA and for a 300 MVA machine it is 12 kA. A significant problem with such machines is consequently to manufacture, utilize and maintain slip rings for these voltages and currents.

35

ABB Review 3/1996, pp 33 - 38 discloses an installation where "ABB Varspeed generator boosts efficiency and ope-

rating flexibility of hydropower plant". The optimization takes place by allowing the turbine and the electric generator to run at variable speed. To still be able to connect the electric generator to a power network with a given and substantially fixed frequency, the frequency of the electric generator is adapted to the mains frequency with the aid of a so-called subsynchronous/supersynchronous converter cascade. To be able to compare this generator drive more easily with the other embodiments described, the relevant part of Figure 4 in the ABB publication has been reproduced in Figure 6 and drawn with the same figure symbols and reference numerals as in Figures 2-4 in the above-mentioned patent document. Thus, it comprises a water-driven turbine 6 with an electric generator 1 (G2) for generating hydroelectric power. The electric generator 1 comprises a shaft 2 which is arranged with the rotor of the hydroelectric generator with the winding 3. Figure 6 also shows the stator winding 7 of the electric generator. The frequency adaptation to the actual mains frequency takes place with the aid of the subsynchronous/supersynchronous converter cascade 17 (CC), which in actual fact is a so-called cycloconverter/frequency converter. The feeding to the network side thereof takes place via a transformer 18 (TR) and the actual difference frequency is fed into the rotor winding 3 of the electric generator via slip rings 19. Thus, the voltage generated with the correct frequency is then fed via a transformer 8 to the power network. Such a frequency adaptation of an electric generator, which is driven by a variable speed, is a so-called Static Scherbius drive (see below under the description of the background art as regards motor drives).

To be able to achieve the correct difference frequency continuously and under varying operating conditions, a frequency control system is required. In that embodiment

of the background art which is shown in Figure 5, the frequency control system is to ensure that the rotor of the converter rotates at the correct speed with the aid of a control signal 16a to the control device of M/G, and in the example shown in Figure 6 the frequency control system shall provide the correct control signal 17a to the ac-to-ac converter 17. However, the frequency control systems are outside the scope of this invention and thus will not be described in more detail.

10

For connection to a power network, a voltage control with respect to amplitude and phase angle is also required in addition to some form of frequency control. In the same way as above, the voltage control systems are outside the scope of this invention.

15

Depending on the actual frequency range both as regards frequency and voltage, in slip-ring ac machines, power will circulate internally via the circuit comprising stator, rotor, slip rings, transformer and converter. The power dimensioning of these parts is also outside the scope of this invention, although a relative comparison between different embodiments will be described under the summary of the invention to demonstrate the advantages possessed by embodiments according to the invention in relation to the prior art.

20

25

SU 1746474 A1 describes an "Asynchronised Synchronous Machine having Reversive Excitation System". This is an electric machine with a conventional three-phase stator winding connected to a power network. The rotor is provided with galvanically separated phase windings. Each one of these is connected to a respective double converter rotating with the shaft. These converters are designed with thyristors and are supplied from a magnetizing exciter rotating with the shaft. Thus, the converters are machine-commutated from the magnetizing exciter and are

30

35

arranged such that they may provide the respective rotor winding with alternating voltage with a frequency corresponding to the slip frequency of the machine. It is obvious that there are problems when changing current direction in the rotor windings. To ensure the transition and to avoid large short-circuit currents when the magnetization current is to change direction, it has been necessary to resort to a special connection arrangement for the connection of the double converters. This consists of each rotor winding being provided with an extra terminal a number of winding turns from each end terminal.

To be able to adapt the frequency of the electric generator of a wind-power plant to the frequency of a connected power network at varying wind speed, there is a brushless system, OPTI-SLIP®, produced by Vestas Danish Wind Technology A/S, Denmark, described in an article "Semi-variable speed operation-a compromise?", presented in the Proceedings of 17th Annual Conference, British Wind Energy Association, 19-21 July 1995, Warwick, UK. The principle of the control is based on the well-known method involving loss control with the aid of varying external rotor resistors connected via slip rings to the rotor winding of the electric generator. Contrary to the well-known slip-ring method, the OPTI-SLIP® plant is arranged with an ac-dc-dc converter rotating with the shaft and a fixed rotor resistor rotating with the shaft, directly connected to the rotor winding. The ac-to-dc converter is designed with a diode rectifier, which in turn is short-circuited by a dc-to-dc converter. The speed control of the wind-power plant takes place via an internal rotor-current control. The loss power associated with the control is thus developed in the rotor resistor rotating with the shaft and is then emitted into the surrounding air. It is clear from the conference article that the speed may be up to 4% above the synchronous

speed, resulting in power losses of the same percentage as the losses in the rotor circuit.

5 Start-up of electric generators to the actual control range takes place in the same way as for constant-speed generators, that is, the turbine accelerates the electric generator up to the range of possible synchronization.

10 The immediately following part of the background art deals with the use of ac machines as motors with varying speed with a more or less limited speed range around a synchronous speed determined by the frequency of the ac network and the pole number of the main machine according to equation (1).

15 Variable-speed-controlled motor drives have existed for about 100 years. The very first ones were so-called Ward-Leonard drives, that is, dc motor drives. Somewhat later, various motor drives based on ac machines emerged. These  
20 motor drives are often named after their inventors Kramer, Scherbius, Schrage, et al. Characteristic of these machines is that they are provided with a wound rotor as well as brushes and slip rings or a commutator. Typical is also that they are arranged to return electric  
25 power from the rotating parts to stationary parts of the installation as, for example, rotor resistors, or that they are controlled with machines as actuators.

30 After the introduction of the converters, the interest in speed-controlled motor drives with ac machines has generally increased again. Recent years' research has focused on the speed control of so-called "brushless ac machines" via substantially two principles, namely, by varying the stator frequency with ac-to-ac converters, so-called  
35 stator converters for full power, and during the last few decades often by so-called field-vector control, that is, division into flow and torque-forming currents.



The introduction of converters has also resulted in the classical Kramer and Scherbius drives, which follow equation (2), receiving renewed interest, and these are nowadays often referred to as "Static Kramer" and "Static Scherbius", respectively. The renewed interest primarily relates to motor drives with powers in the MW class. It is these motor drives that are to be regarded as the closest prior art relative to the present invention. These are described in a large number of documents, inter alia summarized in IEE Proc, Vol. 131, Pt. A, No. 7, September 1984, pp 535-536, "Electrical variable-speed drives", by B. L. Jones et al.

A static Kramer drive is often referred to as a sub-synchronous converter cascade and has a connection, the principle of which is shown in Figure 7. The stator winding 20 of the horizontal-shaft motor is connected to a power network. The rotor winding 21 is connected, via slip rings 22, to a rectifier 23, the voltage of which becomes proportional to the slip. This voltage is connected in inverse feedback by the voltage from an inverter 25 connected to the same power network via a transformer 24. The voltage of the inverter is a trigonometric function of its control angle and in this way determines the speed of the motor. In this way, in a static Kramer drive, the slip power is fed back to the network by frequency conversion in two stages via an intermediate dc link.

As regards a drive according to Figure 7, power may be transmitted in one direction only via a rectifier, but in both directions if the rectifier 23 is designed as a converter with thyristors. To change the direction of rotation, the phase sequence of the motor connection need to be shifted.

A static Kramer drive may be characterized as a current-controlled motor drive.

A static Scherbius drive is clear from Figure 8. The  
5 stator winding 20 of the motor is connected to a power network in the same way as in Figure 7. The rotor winding 21 is connected, via slip rings 22, to a cycloconverter/-frequency converter 26 connected to the power network via a transformer 24. Specific for a Scherbius drive is that  
10 the speed is controlled via the rotor connection with the voltage of the cycloconverter, the amplitude, phase and frequency of which may be changed independently of each other. For the control, a feedback from the motor is needed to maintain the correct frequency as well as the  
15 amplitude quotient and the phase ratio between the rotor voltage and the control voltage.

One advantage of the Scherbius drive relative to the Kramer drive is that the frequency converter may supply  
20 the machine with a rotor current also during synchronous operation, which implies that the operation may, without extra electronics, change from subsynchronous to supersynchronous operation. In addition, since the frequency converter is regenerative, a Scherbius drive may brake  
25 both at subsynchronous and supersynchronous speed. It may also continuously operate during synchronous operation without the power semiconductors being overloaded. However, the slip rings may become unsymmetrically loaded with a certain risk of overheating when the operation is  
30 synchronous.

A static Scherbius drive may be characterized as a frequency- and voltage-controlled motor drive.

35 Hitachi Review, Vol. 44 (1995), No. 1, pp 55 - 62 describes an "400-MW Adjustable-Speed Pumped-Storage Hydraulic Power Plant" based on the Scherbius principle,

- where the vertical-shaft speed-controlled ac machine is used as a pump motor at night and as electric generator in the daytime. Apart from the direction of mounting of the shaft, the fundamental design, connection and functional description of the ac machine are thus the same as for Figures 6 and 8. Interesting numbers in this context are that, in generator operation, the rated power is 395 MVA in a speed range of 330 - 354 r/min and, in motor operation, the rated power is 380 MW in a speed control range of 330 - 390 r/min. The power of the necessary cycloconverter for these control ranges is 72 MVA, that is, it is between 18 and 22% of the respective rated powers.
- 15 The described designs with slip rings and converters both as regards electric-generator and motor drives suffer from certain drawbacks/problems which the invention intends to largely eliminate or reduce.
- 20 The greatest drawback of these drives, and which causes the most problems and faults, are the slip rings and their connections, brushes, etc. These parts of an ac drive are those which have the shortest life and require most maintenance, especially as they are to transmit
- 25 considerable powers (cf., e.g., the designs according to US 5,742,515, where the entire machine power is to be transmitted via the slip rings.)

In slip-ring ac machine drives, power circulates internally both in the stator circuit, the rotor circuit and the air gap and via the external transformer and the ac-to-ac converter. The circulating power may be both active and reactive. The reactive power is consumed internally in the transformer, in the converter as well as in the rotor and stator of the ac machine. This increases the rated nominal power of the electromagnetic circuit, that is, the dimensioning product of rated voltage during no-

load operation and rated current at full load. At the same time, this also implies that the rated nominal power of the converters is greater than what is needed because of the circulating reactive power.

5

For various reasons, the ac motor drives at present have a practical upper limit of about 25 MW. This is substantially due to the problems which arise in connection with starting and accelerating the motor drives on relatively weak power networks. If a synchronous machine were to be started with a direct start, that is, with direct connection into the power network without any attempts to reduce the rotor currents, the starting current could amount to 3 - 6 times the rated current and the starting losses would substantially be developed in the rotating parts where, during the starting/acceleration process, they would be stored adiabatically. In order for a start to take place in a more controlled way, different methods are employed, such as series/parallel connection of the stator windings, with the aid of a starting transformer or with a series reactor or resistor. Start of slip-ring ac machines may take place with full stator voltage with a rotor resistance  $R_s$  which is connected to the rotor winding via the slip rings and which is successively reduced when the machine starts. Such a starting device is shown in Figure 9.

Braking or deceleration of ac machines from the control range around synchronous speed to a standstill according to the prior art is performed in a manner well-known to the person skilled in the art. Braking is a transient phenomenon and in the same way as starting it is associated with changes in the kinetic energy of the rotating system. The simplest electrical method of braking is the so-called counter-current braking, which occurs by changing two phases in the ac voltage connected to the stator winding. The change of kinetic energy associated with the

transient phenomenon causes loss energy in the rotor circuit, which is therefore classically designed with slip rings and external rotor resistors to carry away the loss energy from the interior of the ac machine in the same way as during starting.

#### SUMMARY OF THE INVENTION, ADVANTAGES

As mentioned in the introduction, the invention comprises an electric rotating ac machine, which in its basic design comprises a main machine and a regulating machine with a common mechanical shaft and a converter rotating with the shaft. The invention also relates to a method when using the converter rotating with the shaft.

Characteristic of the main machine is that it is designed with ac windings in both stator and rotor and that it may operate both as an electric generator and as a motor.

The regulating machine has several functions. It is to supply the rotor winding of the main machine with control power/frequency for the actual control range and it is also intended to function as a starting motor for the constant-frequency machine or to transmit the starting losses of the main machine to external resistors.

The converter also has several functions. Its main task is to function, during operation, as an ac-to-ac converter according to the previous definition. During starting, it should be able to function as an ac poly-phase coupler or as an ac phase-angle/voltage regulator or as an ac short-circuit coupler for the rotor winding of the regulating machine. During controlled braking and/or stopping, the converter is to be able to function as an ac phase-angle/voltage regulator or as an ac poly-phase coupler. The invention also comprises a method for

use of the converter rotating with the shaft in accordance with the above.

However, the installation designs when the machine is operating as an electric generator and as a motor, respectively, differ somewhat from each other primarily as regards rated powers, rated voltages and starting methods. In certain contexts, however, the machine may be used both as an electric generator and as a motor.

Initially, the summary of the invention will deal with the design of the stator winding of the main machine, which is largely common to the machine both as an electric generator and as a motor. Then follows a description of the machine when it is used as an electric generator with a variable speed and when it is used as a motor with variable speed. Thereafter, the design of the regulating machine and also, to a certain extent, the design of the ac-to-ac converter will be described in broad outline. Finally, the advantages possessed by a machine according to the invention in relation to the prior art will be described.

It has been generally described above that the stator winding of the main machine is connected to a transmission and distribution network with medium or high voltage. As shown in the accompanying drawings, the connection may also be transformerless or take place via power transformers. The connection may also take place vis-à-vis converters for frequency conversion, for power factor correction, for filtering of harmonics, etc.

For direct connection to a high-voltage network, the stator winding of a machine according to the invention is wound with a high-voltage cable. A preferred embodiment of the cable comprises a current-carrying conductor comprising transposed, both uninsulated and insulated,

strands. Around the conductor is an inner semiconductive layer which is surrounded by at least one extruded insulating layer which, in turn, is surrounded by an outer semiconductive layer. To avoid induced currents and losses associated therewith in the outer semiconductive layer, this layer is divided into a number of cut-off parts. Each one of these cut-off parts is then connected to ground, whereby the outer semiconductive layer will be located at ground potential or at least near ground potential. This implies that no large randomly distributed field concentrations, varying with the conductor geometry, may arise in the stator winding of the machine. A more detailed description of such a cable and winding as well as the advantages afforded by such a cable and winding in rotating machines is given in WO 97/45919.

As mentioned above, the description of the invention will first deal with how the machine is used as an electric generator with varying speed. One example of the basic design is shown in Figure 10 which, as far as generated voltage is concerned, relates to a conventional electric generator, that is, an electric generator intended for voltages up to 25 kV. To be able to compare the invention in a simple manner with the described background art, Figure 10 has, as far as possible, the same figure symbols and reference numerals as the figures described earlier. There are thus one main machine/electric generator 1, one regulating machine 27 arranged on a common shaft, and one converter 28 in the form of an ac-to-ac converter mounted on the shaft. Otherwise, Figure 10 shows that the ac rotor winding 29 of the regulating machine is connected to the "network side" of the ac-to-ac converter and that its output is connected to the ac rotor winding 3 of the electric generator. The stator winding 30 of the regulating machine may, in the same way as for previously described brushless exciters, be designed with salient poles. As will be clear from the

following description, also a different embodiment may be used. The main machine/the electric generator and the regulating machine are driven in the manner previously described via a turbine 6. The voltage generated by the electric generator in the stator winding 7 is connected,  
5 as above, via a step-up transformer 8 to a high-voltage power network.

The principle of the frequency control at varying speed  
10 of the drive means is the same as previously described, that is, the ac rotor winding 3 of the electric generator is supplied with a voltage with the difference frequency which is needed to obtain the desired frequency of the generated stator voltage at the actual speed. The control  
15 signal 28a of the frequency control system to the rotating ac-to-ac converter may be created in different ways which are outside the scope of this invention. The same applies to the voltage control of the system as far as amplitude and phase angle are concerned.

20 It should be noted that when the electric generator is run at a speed which, with a given pole number, corresponds to synchronization to the frequency of the power network, the connection of the ac-to-ac converter to the  
25 rotor winding will occur with the frequency zero, that is, with direct current.

Contrary to the state of the art with slip-ring transmission of power/difference frequency to the rotor  
30 winding and contrary to the special connection of the rotor winding with galvanically separated windings with extra terminals which are needed with the machine-commutated double converter as described in SU 1746474 A1, according to the invention transmission of  
35 power/difference frequency is made to a conventional rotor winding which is connected to a self-commutated double converter which in a preferred embodiment consists



of a matrix converter. Since it is now a question of power transmission to/from the power network, the regulating machine and the converter must be dimensioned for the actual control range both as regards torque and speed and also as regards so-called commutating overlaps because of a "weak-network" nature of the rotating windings. As example of such dimensioning, there is mentioned the power of the cycloconverter relative to the rated power in the Hitachi case. To illustrate this, the regulating machine 27 has been drawn more proportionally correct relative to the power of the electric generator, in contrast to Figures 2, 3 etc., where the exciter shall only supply the electric generator with dc excitation power.

Problems in connection with the commutation of converters may be reduced in various ways. ABB Review 2/97, pp 25-33 describes one method with "Capacitor commuted convertors for HVDC systems". The article describes how the commutating margin is improved and how the reactive power need drops with series capacitors in ac connection, that is, between the line-commutated converter and its transformer, when the converter operates in inverter mode. A corresponding technique is used in connection with the description and embodiments of the ac-to-ac converter integrated into the invention.

The constant-frequency machine with a variable speed according to the invention may, of course, be designed for adaptation to different generating application alternatives. This is particularly true of the winding designs of both the main machine and the regulating machine and hence also of the design of the ac-to-ac converter. As examples of alternative embodiments when it comes to the stator winding of the electric generator, it may also, in addition to the embodiment shown in Figure 10 for a "conventional" high-voltage level as far as elec-

tric generators are concerned, be designed as the electric generator described in WO 97/45919 for higher voltages according to Figure 11a which is a correspondence to Figure 3. Figure 11b shows an axial end view of  
5 a sector/pole pitch of a main machine according to the invention and will be described in greater detail under the description of embodiments. The correspondence to Figure 4, that is, where the electric generator is designed as a high-voltage generator according to WO  
10 97/45907 with 2x3-phase stator windings for supplying an HVDC installation with a 12-pulse voltage, is also a design which is currently of great interest.

Run-up/starting of the constant-frequency machine to the  
15 actual control range for operation as an electric generator occurs by the turbine accelerating the main machine and the regulating machine until the machine is capable of assuming the control itself.

20 An ac machine according to the invention also has a large field of application when it comes to motor drives with varying speed. A basic design for motor drives will be described starting from Figure 12.

25 In the same way as described for the embodiment with the basic design of the electric generator, also in this case, for comparing the invention with the background art described, to the greatest possible extent the same figure symbols and reference numerals will be used as in  
30 the previously described figures regarding motor drives, that is, Figures 7 and 8. Thus, according to Figure 12, there are a main machine/electric motor 1 with a stator winding 20 and a rotor winding 21, a regulating machine 27 arranged on a common shaft and a converter 28 in the  
35 form of an ac-to-ac converter. The regulating machine is provided with a rotor winding 29 and a stator winding 30. Otherwise, as is clear from Figure 12, the rotor winding

29 of the regulating machine is connected to the "network side" of the ac-to-ac converter and its output is connected to the ac rotor winding 21 of the main machine/electric motor. The stator machine 30 of the regulating machine 30 may be designed, in the same way as the brushless exciters mentioned above, with salient poles but also in this case other embodiments may occur. The electric motor and the regulating machine jointly drive the mechanical load (not shown).

The principle of varying the speed of motor drives during ac supply with a "constant" mains frequency is the same as has been described previously for electric generators, that is, that according to Figure 12 the ac rotor winding 21 of the main machine is supplied with a voltage with the difference frequency needed for the m.m.f. and flux waves created by the currents in the stator winding 20 and the rotor winding 29 to rotate synchronously in the air gap of the electric motor 1. The control signal 28a of the speed/frequency control system may be created in different ways. It depends on the requirements for dynamics, power factor, the level of the mains voltage relative to its nominal, etc. In the same way as for synchronous operation of the electric generator as described above, the current in the rotor winding 21 of the electric motor will have the frequency zero during synchronous operation, that is, again there will be a special case with direct current in the ac rotor winding of the main machine.

In the description of the invention both as regards generator and motor operation, it was stated that the rotor winding of the regulating machine is to be an ac winding and that the stator winding may be designed with salient poles but that other embodiments may also occur, depending on different applications. The part of the

description that follows next will describe alternative embodiments.

5 The regulating machine creates a local ac network to which only the ac-to-ac converter is connected. The number of poles thereof may thus be chosen relatively freely. To keep its physical dimensions as small as possible for a given speed variation, the regulating machine is preferably designed with more poles than the  
10 main machine.

The design with salient poles may also be carried out in different ways. The preferred embodiment consists of "salient poles" with a dc winding. This creates a  
15 stationary air-gap flow in the regulating machine which permits a control possibility which is attractive from the installation engineering point of view by varying the magnitude of the air-gap flow via the value of the direct current. The design with salient poles in the stator of  
20 the regulating machine also comprises the air-gap flow being created by permanent magnets, which, however, implies a largely constant air-gap flow. The design with salient poles of the stator of the regulating machine is primarily of interest when the invention is to be used  
25 with different generator drives.

The stator winding of the regulating machine may also be designed as an ac winding, whereby a rotating air-gap flow is created in the regulating machine. Such a design  
30 primarily permits supply of excitation output during operation, combined, however, with certain input/output of shaft power. This may be eliminated by supplying direct current into part of, or by switching of, the ac winding. Another considerable advantage of an ac winding  
35 in the stator is that the starting conditions are significantly improved when using the machine according to the invention as a motor.

The ac-to-ac converters which are used, according to prior art, in connection with speed control via varying supply frequency have a constant input frequency determined by the power supply network. A machine according to the invention places higher demands on the ac-to-ac converter. This is due to the fact that the input voltage/input frequency of the ac-to-ac converter, which is generated by the rotor winding of the regulating machine, varies and is, for a given machine design and power supply network, dependent on and directly proportional to the variable/varying speed of the shaft. In addition, the output voltage/output frequency of the ac-to-ac converter to the rotor winding of the main machine, as far as frequency is concerned, shall be proportional to the speed difference between the synchronous and actual speeds of the main machine. This implies that the ratio of the input frequency of the ac-to-ac converter to the output frequency thereof will vary.

The design of the ac-to-ac converter, integrated into the invention, and the components included will be described in greater detail in the description of the embodiments. Generally, in other respect, the ac-to-ac converter may be designed as a matrix converter or as a cycloconverter, that is, a voltage-source direct converter with anti-parallel-connected thyristor bridges. The ac-to-ac converter may also be designed with an intermediate dc voltage link or an intermediate dc link. It shall be dimensioned so as to withstand the greatest open-circuit voltage occurring and the greatest possible load current in the rotor windings.

Ac machine drives according to the invention have a considerable number of advantages as compared with corresponding drives designed according to prior art:

- Brushless control of the ac machine is performed.

- Since, in these brushless ac machines, no power circulates around via the stator circuit, this means an approximate halving of the necessary converter ratings.

5

- An ac machine according to the invention may be used, both as motor and as generator, for generating reactive power to the power network or at least they do not withdraw any reactive power from the machine.

10

- Power electronic converters reduce the losses and physical dimension of the main circuits.

15

- Since neither active nor reactive circulating power loads the winding of the stator, also the losses will significantly decrease relative to those of the prior art.

20

- The rotor windings of both the main machine and the regulating machine may be designed with lower and hence less expensive voltage levels, since there are no longer any limiting external criteria imposed by slip rings, extended busbars and cabling.

25

- Harmonics in the converter circuits essentially remain inside the rotating machine and thus do not propagate to the power network.

30

- The machine may be designed for one, two or more high-power connections to a power-supply network.

35

To further describe the advantages of a constant-frequency machine with a varying/variable speed according to the invention, the following table shows a relative power comparison based on a given apparent rated power  $S_n$  for the embodiments described. The comparison relates to

the sum power for the rotating machines, ROT, the sum power for the transformers included, TRAFO, the sum power for the converters included, SR, the sum of the power transmitted via slip rings, SL, and output power, UE.

5 (T.S.) and (U.F.), respectively, mean that the figure belongs to the prior art or to the invention.

Machine according to	ROT	TRAFO	SR	SL	UE
Figure 2 (T.S.)	$S_n$	$S_n$	$0.05 S_n$	0	$S_n$
10 Figure 3 (T.S.)	$S_n$	0	$0.05 S_n$	0	$S_n$
Figure 5 (T.S.)	$2.2 S_n$	$S_n$	$0.2 S_n$	$1.15 S_n$	$1.1 S_n$
Figure 6 (T.S.)	$1.3 S_n$	$1.4 S_n$	$0.4 S_n$	$0.4 S_n$	$1.1 S_n$
Figure 9 (U.F.)	$1.3 S_n$	$S_n$	$0.3 S_n$	0	$1.1 S_n$
Figure 10 (U.F.)	$1.3 S_n$	0	$0.3 S_n$	0	$1.1 S_n$

15

A machine according to Figure 2:

All the "major" manufacturers of electric generators are capable of manufacturing constant-speed machines with full-power step-up transformers with brushless exciters.

20 In an installation according to the figure, the electric-power generator 1 and the step-up transformer 8 are designed for the same apparent rated power  $S_n$ .

The standard concept for an installation is to use, for the brushless design, an exciter, rotating with the

25 shaft, with a converter/ac-to-dc converter 5 for supplying the field winding 3 in the rotor. The rated nominal power of the converter is to some extent dependent on the dynamic requirements of the voltage control. Typical values are, however, that it is  
30 dimensioned for 5% of the power of the electric generator. The machine has no slip rings for transmission of the dc excitation to the field winding.

A machine according to Figure 3:

35 This is a machine according to the previously described WO 97/45919, that is, an electric generator 1 for high voltage in which the installation does not need any step-up transformer. The rated nominal power of the converter

rotating with the shaft is as above, that is, about 5% of the apparent rated power. The magnetization may take place without slip rings.

5 A machine/Machines according to Figure 5:

An estimation of the sum of the apparent rated power for the rotating machines shows that it is about  $2.2 \cdot S_n$ . Without specifying the basis of this assessment in more detail, it may be determined that, since the

10 machine/converter 11 shall have the rated power  $S_n$ , as well as the transformer 8, the machine 1 must be designed for the same power plus the reactive power consumed by the machine 11. The sum of the power of the rotating machines must, in addition thereto, comprise the power  
15 required for driving the machine 15, that is, the drive source of the converter.

The sum converter power for the ac-to-ac converter 16 and for dc excitation of the machine 1 is estimated at about  
20  $0.2 \cdot S_n$ .

The total power through the slip rings is the apparent power, transmitted from machine 1 to machine 11, which is estimated at about  $1.15 \cdot S_n$ , starting from a short-  
25 circuit reactance of machine 11 of 0.15 pu. The series capacitors mentioned in EP 0749190 will also have the value 0.15 pu. As previously described, very high demands are placed on the power-transmission capacity of the slip rings.

30

A machine according to Figure 6:

As previously described, this is a system based on the Scherbius cascade, where the rotating electric machine/electric generator 1 is assumed to be designed  
35 with slip rings 19 to the cascade. The ac-to-ac converter 17, that is, the converter in the cascade, is dimensioned for the actual control range and for the reactive power



it consumes. The installed rated power for the converter may thus be estimated at about  $0.4 \cdot S_n$ , which also corresponds to the total power through the slip rings. The apparent rated power of the rotating machine will consequently be about  $1.3 \cdot S_n$  and the total installed rated power for the transformers will be about  $1.4 \cdot S_n$ .

Machines according to Figures 10, 11a and 11b:  
These figures represent a machine according to the present invention, that is, "A constant-frequency machine with a varying/variable speed". To sum up, the machine comprises a first electric machine 1 called main machine and a second electric machine 27 called regulating machine with a common mechanical shaft 2 and a converter/ac-to-ac converter 28 rotating with the shaft. According to Figure 10, the main machine 1 may be designed with high voltage "conventional" to electric generators, that is, up to 25 kV and a step-up transformer 8 or it may, according to Figure 11a, be designed with a high-voltage winding, in which case the step-up transformer is eliminated. Since reactive power does not circulate internally via the stator of the main machine, the rated nominal power for the ac-to-ac converter for the same control range as for the machine according to Figure 6 will be smaller, approximately  $0.3 \cdot S_n$ . The rated power of the regulating machine is consequently also  $0.3 \cdot S_n$ , and the total apparent rated power of the rotating machine is  $1.3 \cdot S_n$ . The rated power of the transformer 8 in Figure 10 is  $1.0 \cdot S_n$ . Machines according to the invention thus comprise no slip rings.

30

A constant-frequency machine according to the invention, in contrast to the embodiments described under the background art, has an advantage which significantly improves the starting and acceleration conditions. It has been described before that the stator winding of the regulating machine may be formed as an ac winding to allow the supply of magnetizing power for the regulating machine during

35

operation, for example by means of an auxiliary winding in the stator of the main machine. It is also indicated in that connection that an ac winding in the stator of the regulating machine improves the starting conditions when  
5 the constant-frequency machine is used as a motor. If the stator winding of the regulating winding is designed as a three-phase winding, an external variable resistor may be connected, during the starting operation, to the connections of the winding to control the magnitude of the  
10 starting current and to a substantially resistive phase angle as well as to carry away losses in the main machine which are associated with the starting operation. This may be done by connecting the converter as an ac polyphase coupler. In principle, starting may also occur in such a  
15 way that the stator winding of the regulating machine is connected directly to a power network and that the rotor windings of the regulating machine and the main machine are connected together, via the converter, and that an external variable resistor is connected to the stator  
20 winding of the main machine. By controlling the converter, rotating with the shaft, as an ac phase-angle/voltage regulator during the starting operation, the external resistor may be a fixed resistor. Both the main machine and the regulating machine operate in such connections as  
25 rotating transformers. A more detailed description of start-up arrangements will be given under the description of the preferred embodiments.

For a normal speed-control range and a normal capacity as  
30 regards reactive power of the constant-frequency machine, the regulating machine is dimensioned for about 30% of the power of the main machine. This permits a possibility to use the regulating machine as a starting motor during start-up, the stator winding thereof being supplied from a  
35 separate frequency converter. One condition is then that the converter rotating with the shaft is connected as an

ac short-circuiting device of the rotor windings of the regulating machine. Such a connection will also be described under the description of the preferred embodiments.

- 5 These alternative starting methods imply that the upper power limit to motor drives during start-up on weak power networks may be increased to at least 40 MW.

10 From a technical point of view, the stator and rotor windings of the main machine with the respective stator and rotor cores operate as a unit which

- ♦ creates torque and rotating motion
- 15 ♦ adapts the incoming high/medium voltage to a medium/low voltage which is optimal for the ac-to-ac converter, rotating with the shaft, as well as the regulating machine
- 20 ♦ forms a "step-down" power transformer between the power supply network and the power electronics
- ♦ with a high-voltage cable in the stator, may have a transformation ratio between the stator voltage and the  
25 rotor voltage which may amount to 100-300 times without capacitively caused amplifications of high-frequency voltages from/to the electric power system or the auxiliary-power winding arising
- 30 ♦ with the windings and cores of the main machine, filters the sub-harmonics/harmonics in current, which are generated in the ac-to-ac converter and are directed towards the main machine, thus preventing these from being transmitted to the electric power  
35 system via the stator winding of the main machine.

From a technical point of view, the stator and rotor windings of the regulating machine with the respective stator and rotor cores operate as a unit which

- 5   ♦ with a suitable choice of the number of poles, creates a higher frequency, 50 - 150 Hz, than the power supply network, and thus
- 10   ♦ during normal operation, provides conditions for a good sinusoidal shape of the rotor current of the main machine generated via the ac-to-ac converter
- 15   ♦ with the windings and cores of the regulating machine, during normal operation filters the sub-harmonics/-harmonics, which are generated in the ac-to-ac converter and which are directed towards the regulating machine, thus preventing these from being transmitted via the stator winding of the regulating machine and the auxiliary-voltage winding of the main machine to
- 20   the electric power system and, via the stator winding of the regulating machine, to an external supply source, respectively
- 25   ♦ during transient phenomena, such as starting and controlled braking and stopping, functions as a "rotating transformer" which conducts the losses associated therewith from the rotating parts of the machine to an external resistor.

30   A description of the technical functions of the converter, rotating with the shaft, will be given under the description of the preferred embodiments.

#### BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

35   Figure 1 shows block diagrams of the converters which occur in the description.

Figure 2 shows, in principle, how brushless exciters for dc excitation are used in connection with conventional electric generators, that is, with a voltage up to 25 kV.

5 Figure 3 shows, in principle, how brushless magnetizing exciters are used in connection with electric generators designed according to WO 97/45919, that is, with even higher voltages.

10 Figure 4 shows, in principle, how brushless magnetizing exciters are used in connection with electric generators designed according to WO 97/45907, that is, as a 2x3-phase high-voltage generator for supplying an HVDC installation.

15 Figure 5 shows, in principle, the electric-power generating part of an installation which is clear from US 5,742,515, "Asynchronous conversion method and apparatus for use with variable speed turbine hydroelectric generation".  
20

Figure 6 shows, in principle, the electric-power generating part of an installation which is evident from an article in which "ABB Varspeed generator boosts efficiency and operating flexibility of hydropower plant".  
25

Figure 7 shows, in principle, how a static Kramer drive is designed.

30 Figure 8 shows, in principle, how a static Scherbius drive is designed.

Figure 9 shows how external rotor resistors are connected to the rotor winding via slip rings during a starting cycle.  
35

Figure 10 shows a fundamental embodiment of a machine according to the invention, used as an electric generator for conventional high voltage, that is, for voltages up to 25 kV.

5

Figure 11a shows a fundamental embodiment of a machine according to the invention, used as an electric generator designed according to WO 97/45919, that is, with even higher voltages.

10

Figure 11b shows an embodiment of an axial end view of a machine according to the invention, used as an electric generator for high voltage corresponding to machines according to WO 97/45919.

15

Figure 12 shows a fundamental embodiment of a machine according to the invention, used as a motor for conventional high voltage, that is, for voltages up to 25 kV.

20 Figure 13 shows a fundamental circuit diagram for the windings of both the main machine and the regulating machine with the converter, rotating with the shaft, in the form of a matrix converter with bidirectional valves.

25 Figure 14 shows an example of alternative bidirectional controllable/extinguishable valves.

Figure 15 shows a fundamental circuit diagram for the windings of both the main machine and the regulating machine with the converter, rotating with the shaft, in the form of a voltage-source direct converter with anti-parallel-connected thyristor bridges.

30

Figure 16 shows a fundamental circuit diagram for the windings of both the main machine and the regulating machine as well as an indication of the various functions of the converter rotating with the shaft.

35

Figure 17 shows a fundamental circuit diagram for the windings of both the main machine and the regulating machine as well as an indication of the function of the converter, rotating with the shaft, when an external variable resistor is connected to the stator winding of the regulating machine.

Figure 18 shows a fundamental circuit diagram for start-up with an external resistor connected to the stator winding of the regulating machine and with the converter in the form of a matrix converter utilized as an ac polyphase coupler.

Figure 19 shows a fundamental circuit diagram for start-up with an external resistor connected to the stator winding of the regulating machine and with the converter in the form of antiparallel-connected thyristor bridges utilized as an ac polyphase coupler.

Figure 20 shows a start-up arrangement of the main machine with the regulating machine as starting motor, the stator winding of which is supplied from a separate frequency converter.

Figure 21 shows how the stator of the main machine is provided with a winding for auxiliary-voltage supply of the stator of the regulating machine.

#### DESCRIPTION OF PREFERRED EMBODIMENTS

The power electronics included for the main function in the constant-frequency machine according to the invention is to be found in the rotating parts of the machine. Optimum voltage levels in the windings of the rotor circuits are determined, independently of the mains voltage, primarily by the maximum permissible voltage levels of the power semiconductors and the actual

connection and with and without series-connected semi-conductors. As regards the stator winding of the main machine, on the other hand, there are no such limitations. It may therefore be manufactured for direct  
5 connection to high-voltage networks. This is made possible by manufacturing/winding the stator winding with high-voltage cables, inter alia according to WO 97/45919. The laminated magnetic circuit of the stator will therefore first be described based on the use of high-voltage  
10 cables in the stator winding.

An example of an embodiment of an axial end view 31 of a sector/pole pitch of a main machine according to the invention for high voltage is clear from Figure 11b. Each  
15 sector/pole pitch is composed in conventional manner of sector-shaped electric sheets. The stator of the machines will thus consist of a number of sectors/pole pitches which together form a laminated stator core. From a radially outermost ridge portion 32 of the core, a number  
20 of teeth 33 extend radially towards the interior of the rotor. Between the teeth there are a corresponding number of slots 34. The use of the above-mentioned high-voltage cable 35 implies, among other things, that the depth of the slots for high-voltage machines is made larger than  
25 what is required according to the prior art. The slot has a cross section decreasing towards the rotor since the need of cable insulation becomes lower for each winding layer towards the interior of the rotor. As will be clear from the figure, the slot consists substantially of a  
30 circular cross section 36 around each layer of the winding with narrower waist portions 37 between the layers. Such a slot cross section may, with a certain right, be referred to as a "bicycle chain slot". Since a relatively large number of layers will be needed in such  
35 a high-voltage machine and the supply of cable dimensions with regard to insulation and external semiconductors is limited, it may in practice be difficult to achieve a



desirable continuous decrease of the cable insulation and the stator slot, respectively. In the embodiment shown in Figure 11b, cables with three different dimensions of the cable insulation are used, arranged in three sections 38, 5 39 and 40, dimensioned accordingly, that is, in practice there will be a modified bicycle chain slot. The figure also shows that the stator tooth may be shaped with a practically constant radial width along the whole depth of the slot. The stator may be provided with a winding 41 10 for auxiliary-power supply, for example for the stator winding of the regulating machine.

Since also the rotor is provided with an ac winding, its core will consist of a design - with a number of slots 15 somewhat differing from that of the stator - of a number of laminated sectors/pole pitches with rotor slots 42 for the rotor winding 43. The rotor winding is to be supplied from the ac-to-ac converter 44 with a voltage with the actual difference frequency. The voltage dimensioning of 20 the rotor winding will then be substantially determined by the maximum permissible voltage levels in the power semiconductors included in the ac-to-ac converter. This, in turn, will be determining for the design of the rotor winding. It may thus be designed according to the prior 25 art for conventional high/medium voltage machines or, as the one mentioned above, with a high-voltage cable, that is, according to WO 97/45919.

The ac-to-ac converter 44, rotating with the shaft, shown 30 in Figure 11a is to be able to convert the relatively high frequency, 50-150 Hz, of the voltage generated in the rotor winding of the regulating machine to the difference frequency, 0-10 Hz, depending on the control range in question. If the converter is designed with 35 silicon-based power semiconductors/valves with a valve in the branches of the converter, the rotor windings of the main machine and the regulating machine will be dimen-

sioned for 1-3 kV. On the other hand, if the converter is designed with silicon-carbide-based power semiconductor/valves with a valve in the branches of the converter, the corresponding voltage levels will be 10-30 kV.

5 Dimensioning as regards voltage for the rotor windings of the main machine and the regulating machine will be access to, choice of and connection, i.e. without or with a series connection, of power semiconductors for the ac-to-ac converter.

10

Figure 13 shows a fundamental circuit diagram for the windings of both the main machine and the regulating machine with the ac-to-ac converter, rotating with the shaft, in the form of a matrix converter with bidirectional valves. In the example shown, the stator winding 15 45 as well as the rotor winding 46 of the main machine are drawn as Y-connected three-phase windings. The matrix converter 47, with the necessary shunt capacitors for creating a high-frequency low-impedance loop where the 20 current may communicate in a simple manner between the phases in the rotor winding of the regulating machine, is connected between the ac rotor winding of the main machine and the ac rotor winding 48 of the regulating machine. The above-mentioned "commutating overlaps because 25 of a weak-network nature of the rotating windings" are eliminated by means of the matrix converter and its shunt capacitors. The regulating machine may thus be designed for a lower rated nominal power. The stator winding 49 of the regulating machine is shown as a three-phase winding 30 in the embodiment shown.

Figures 14a, 14b and 14c indicate alternative bidirectional valves in the matrix converter. The following identification requires a certain skill in the art.

35 Figure 14a shows a bidirectional valve in the form of two GTO thyristors or two IGCTs. Figure 14b shows a bidirec-

tional valve with two IGBTs. Figure 14c shows a bidirectional valve with one IGBT.

Figure 15 shows a fundamental circuit diagram for the  
5 windings of both the main machine and the regulating  
machine with the ac-to-ac converter, rotating with the  
shaft, in the form of a voltage-source direct converter  
with antiparallel-connected thyristor bridges. In the  
same way as in Figure 13, both the stator winding 45 and  
10 the rotor winding 46 of the main machine are drawn as Y-  
connected three-phase windings. The voltage-source direct  
converter with antiparallel-connected thyristors 50 is  
connected between the ac rotor winding of the main  
machine and the ac rotor winding 48 of the regulating  
15 machine. In the same way as for the matrix converter, in  
order to facilitate the commutation, also here capacitors  
may be series- or shunt-connected between the rotor  
winding of the regulating machine and the ac-to-ac con-  
verter and between the rotor winding of the main machine  
20 and the ac-to-ac converter, respectively. They may also  
be connected in series and/or in parallel with internal  
terminals inside the rotor winding of the regulating  
machine. Connection of capacitors in this way implies  
that the regulating machine may be designed for lower  
25 rated nominal power. The stator winding 49 of the regula-  
ting machine is, in the embodiment shown, also here shown  
as a three-phase winding.

As mentioned before, the scope of the invention comprises  
30 a plurality of different alternative embodiments for the  
windings of both the main machine and the regulating  
machine.

As regards the stator winding of the main machine, a  
35 preferred embodiment is a three-phase winding as the one  
shown in Figures 13 and 15, that is, a conventional Y-  
connected winding. When the machine is to be used in an

HVDC installation, the stator winding will be designed with a 2x3-phase winding with a 30-degree phase shift, as is clear, inter alia, from Figure 4. Other winding forms, for example 1-phase, 2-phase and multiphase, 2x2-phase etc., may be used for specific purposes. As regards the voltage level of the stator winding, the machine may be dimensioned for conventional "machine" high voltage, that is, up to 25 kV, or it may, with high-voltage cable, be dimensioned for considerably higher voltages. In certain applications, the stator may be provided with an extra winding for generating auxiliary power to, for example, the control of the regulating machine etc., which is shown in Figure 21.

In a preferred embodiment, also the ac rotor winding of the main machine is a Y-connected three-phase winding, as those shown in Figures 13 and 15. Also here, the three-phase winding may be D-connected for various reasons, the winding may be designed as a 2x3-phase winding, and other winding forms as described above may be used.

Also with regard to the ac rotor winding of the regulating machine, the Y-connected three-phase winding shown in Figures 13 and 15 is a preferred embodiment, but it may be designed D-connected or as a 1-phase winding, a 2-phase winding and as a multiphase, 2x3-phase, 2x2-phase winding, etc. The ac-to-ac converter may also be supplied with single-phase alternating current from the rotor winding of the regulating machine. Other winding forms may be used in connection with specific applications.

From Figures 13 and 15 it is clear that the stator winding of the regulating machine may also be designed as a Y-connected three-phase winding. As mentioned above, the stator of the regulating machine may be designed with salient poles for dc excitation and it may also be designed with permanent magnets. Even if the stator

--

winding consists of a three-phase winding, it may, by means of changing-over switching, be used for dc excitation. The design of the stator winding of the regulating machine is often determined by how the machine is to be  
5 started from stationary state up to the range of speed in question.

Common to the current applications with the constant-frequency machine is that the load only has a need of a  
10 limited control range around the synchronous speed of the main machine.

An ac machine according to the invention has a large number of fields of application as regards motor drives.  
15 There are processes with motor drives which, for various reasons, at present do not use speed control but which, with ac machines according to the invention, could be significantly improved.

20 The stator winding of the machine may be dimensioned for connection to power supply networks with voltage from an established low voltage up to classical high-voltage levels. Determining for the voltage which is to be used in the stator winding are largely the available mains  
25 voltage and the frequency range in question.

For motor powers of just a few megawatts, the stator winding is connected preferably to a medium-voltage level of between 1 and 36 kV.

30 At rated powers of above 10 MW, the connection of the machine to the power supply network may preferably be dimensioned for 50 kV or higher, for example 130 kV, that is, be connected to a transmission and distribution  
35 network. By connecting to these mains-voltage levels, above all high current forces and voltage drops in the power network during the starting procedure are avoided.

As mentioned in the preamble to the description of the embodiments, the converter rotating with the shaft is switchable for several different functions. In addition to the function as ac-to-ac converter during operation, it may also be connected for several functions in connection with starting and controlled stopping of the constant-frequency machine. Figure 16 shows the preferred embodiment as regards the design of the windings during operation as well as a summary of the functions of the converter 51 both during operation, starting and stopping. Controlled braking and stopping will be described later on. The functions of the converter during controlled operation and starting are as follows:

- 15 ♦ The function 51a of the converter corresponds to its function during operation, that is, as an ac-to-ac converter according to the definition given above.
- 20 ♦ The function 51b of the converter corresponds to its function during starting as an ac polyphase coupler which electronically interconnects input and output connections for interconnection of the rotor windings of the main machine and the regulating machine when an external variable resistor 52 is connected to the stator winding of the regulating machine according to Figure 17.
- 25 ♦ The function of the converter 51c corresponds to its functions during starting as an ac phase-angle/voltage regulator between the rotor windings of the main machine and the regulating machine when an external fixed resistor is connected to the stator winding of the regulating machine.
- 30 ♦ The function 51d of the converter corresponds to its function during starting as an ac short-circuit coupler of the rotor windings of the regulating machine when
- 35

directly connecting the stator winding of the regulating machine to a power network according to Figure 18.

Figure 18 otherwise shows a fundamental circuit diagram for starting the constant-frequency machine by direct connection of the main machine to a power network. Starting occurs in the manner described previously with an external three-phase controllable resistor 52 connected to the three-phase stator winding of the regulating machine. The converter is now connected as an ac polyphase coupler according to 51b which connects each phase connection of the rotor winding of the main machine directly to the corresponding phase connection of the rotor winding of the regulating machine. The starting losses of the main machine are now connected by way of a transformer to the regulating machine which then, via its stator winding, transfers the losses to the external resistors.

The mode of operation of the converter when it is to function as an ac polyphase coupler may be achieved in various ways. Figure 18 shows in detail how the converter is arranged as a polyphase coupler with a matrix converter. This function is obtained by "firing" one valve, the one marked in coarse lines, in each branch. Figure 19 shows the function as an ac polyphase coupler with the converter in the form of antiparallel-connected thyristor bridges 50a and 50b. As will be clear, it is now suitable for the rotor winding of the main machine to comprise 2x3-phase windings 46a and 46b for 6-pulse-connected thyristor bridges where each bridge needs to be provided with a pair of antiparallel-connected thyristors, marked in coarse lines, and with the corresponding rotor windings 48a and 48b of the regulating machine.

35

For a normal speed range of the constant-frequency machine, the regulating machine is designed for about 30%

of the power of the main machine. This permits a possibility of using the regulating machine during start-up as a starting motor, the stator winding of which is supplied from a separate frequency converter 53, not rotating  
5 along with the shaft. One condition is then that the converter rotating with the shaft is connected as an ac short-circuit coupler, that is, as the function 51d, of the rotor windings of the regulating machine. Such a start-up arrangement with the frequency converter 53 is  
10 shown, in principle, in Figure 20.

Controlled braking from the control range to a standstill is performed with the same main circuits as for starting, that is, as Figures 18 and 19. In that connection, the  
15 converter rotating with the shaft is utilized as

- ♦ an ac polyphase coupler, that is, as 51b above, between the rotor windings of the main machine and the regulating machine for controlling active and reactive power  
20 by direct connection of the windings with and/or without shifting the phase sequence. The operations are performed by so-called counter-current braking and the power development associated with the transient phenomenon occurs in an external variable resistor 52.  
25 In addition, a change of phase sequence must take place in the ac voltage connected to the stator winding of the main machine, or as

- ♦ an ac phase-angle/voltage regulator, that is, as 51c  
30 above, whereby the external resistor is fixed and the control occurs through that proportion of the alternating current of the rotor circuit which is let through. Also in this case, a change of phase sequence must take place in the ac voltage connected to the stator winding  
35 of the main machine, or as



♦ an ac short-circuit coupler, that is, as 51d above, for controlled braking with the aid of a frequency converter 53 in Figure 20. A change of phase sequence for connection to the stator winding of the regulating machine from the frequency converter must occur. The frequency converter must be able to feed back energy to the power network or develop braking energy in an external resistor.

Figure 21 shows how the stator of the main machine is provided with a winding 54 for auxiliary-voltage supply of the stator of the regulating machine with direct current via a controlled converter 56. During dc excitation of the stator winding of the regulating machine, one of the phase windings must be turned around compared with connection to a three-phase ac network.

One example of a motor drive which could advantageously use a machine according to the invention are so-called refiner drives. According to the state of the art, newsprint paper, for example, is manufactured using constant-speed synchronous motors which are limited to about 25 MW because of the problem of starting towards weak power networks. A motor drive according to the invention could, in addition, entail increased rate of production in existing plants.

Slip-ring static Kramer and Scherbius drives for pumps and fans could advantageously be replaced by machines according to the invention.

Wind-tunnel drives are one example of high-power plants of over 100 MW which are well suited for ac machines according to the invention. These are at present designed as speed-controlled systems with synchronous machines with salient poles and current intermediate-link converters for full power.

The stator winding of the regulating machine may, during operation, be connected to a low-power dc network or to an ac single-phase or three-phase network. These networks may be arranged by utilizing the auxiliary-power winding, mentioned above, in the stator of the main machine. This means that the constant-frequency machine has one single connection to power supply networks, whereby one transformer is saved. If no external resistor is used during the starting operation, the regulating machine may be designed with permanent magnets.

Parallel connection of power semiconductors and parallel connection of converter modules, respectively, for, for example, 2x3-phase windings are to be preferred for operations carried out by machines according to the invention. If the rotor voltage is selected within the range of 1 - 15 kV, that is, if the windings are designed as random-wound coils or form coils, a good fill factor is obtained for the rotor slots of the machines. Still higher rotor voltages of up to several tens of kV, that is, for machines according to WO 97/45919, may come into question when the power semiconductors for the ac-to-ac converter reach such levels.

## CLAIMS

1. A constant-frequency machine with a varying/variable speed comprising at least one first and one second electric rotating machine with a common shaft and a converter mounted on the shaft and rotating with the shaft, characterized in that

the first electric machine (1), the main machine, comprises a stator and a rotor and that both the stator and the rotor are arranged with ac windings (3, 7, 20, 21, 45, 46),

that the second electric rotating machine (27), the regulating machine, comprises a stator and a rotor and that the rotor is arranged with an ac winding (29, 48),

that the converter (28, 51), comprising a number of branches with valves, is connected between the rotor windings of the main machine and the regulating machine and that, during operation, it is arranged as an ac-to-ac converter (51a) and that, during starting, it is arranged as an ac polyphase coupler (51b) or as an ac phase-angle/voltage regulator (51c) or as an ac short-circuit coupler (51d) and that, during controlled braking and stopping, it is arranged as an ac polyphase coupler (51b) or as an ac phase-angle/voltage regulator (51c), or as an ac short-circuit coupler (51d), and

that the stator winding (7, 20, 45) of the main machine is connected to an ac power network.

2. A constant-frequency machine with a varying/variable speed according to claim 1, characterized in that, when the machine operates as an electric generator, a constant frequency of the voltage of the main machine supplied to the power network is maintained at varying speed by the

ac-to-ac converter (51a) supplying the rotor winding (3, 21, 46) of the main machine with a voltage with a frequency corresponding to the difference frequency  $f_c$  between the synchronous frequency  $f_s$  of the electric generator at the actual speed  $n_r$  and the nominal frequency  $f_n$  of the power network.

3. A constant-frequency machine with a varying/variable speed according to claim 1, **characterized** in that, when the machine operates as a motor, the desired speed of the machine is obtained by the ac-to-ac converter (51a) supplying the rotor winding (3, 21, 46) of the main machine with a voltage with a frequency corresponding to the difference frequency  $f_c$  between the frequency  $f_s$  of the power supply network and the synchronous frequency  $f_s$  of the machine at the desired speed  $n_r$ .

4. A constant-frequency machine with a varying/variable speed according to claim 1, **characterized** in that the transformation ratio between the stator winding and the rotor winding is adapted to the ratio between the voltage of the power network and the maximum allowed voltage of the converter with one valve in each of the branches of the ac-to-ac converter.

5. A constant-frequency machine with a varying/variable speed according to claim 1, **characterized** in that the stator winding (7, 20, 45) of the main machine is made from at least one cable.

6. A constant-frequency machine with a varying/variable speed according to claims 1 and 5, **characterized** in that, when the stator winding (7, 20, 45) of the main machine is made from at least one cable, the cable/cables is/are of a high-voltage type.

7. A constant-frequency machine with a varying/variable speed according to claim 1, **characterized** in that the stator winding (7, 20, 45) of the main machine is directly connected to the ac power network.

5

8. A constant-frequency machine with a varying/variable speed according to claim 1, **characterized** in that the stator winding (7, 20, 45) of the main machine is directly connected to the ac power network via a transformer (8).

10

9. A constant-frequency machine with a varying/variable speed according to claim 1, **characterized** in that the stator winding (7, 20, 45) of the main machine is designed as a 3-phase winding, a 2-phase winding, a 2x3-phase winding, or of an optional number of phase windings.

15

10. A constant-frequency machine with a varying/variable speed according to claim 1, **characterized** in that the stator of the main machine, besides the stator winding (7, 20, 45) which is connected to the ac voltage network, is arranged with an auxiliary winding (41) for generating ac voltage auxiliary power.

20

11. A constant-frequency machine with a varying/variable speed according to claim 1, **characterized** in that the rotor winding (3, 21, 46) of the main machine is designed as a 3-phase winding, a 2-phase winding, a 2x3-phase winding, or of an optional number of phase windings.

25

12. A constant-frequency machine with a varying/variable speed according to claim 1, **characterized** in that the rotor winding (3, 21, 46) of the regulating machine is designed as a 3-phase winding, a 2-phase winding, a 2x3-phase winding, or of an optional number of phase windings.

30

13. A constant-frequency machine with a varying/variable speed according to claim 1, **characterized** in that the

35

stator of the regulating machine is designed with a dc winding (30, 49).

5 14. A constant-frequency machine with a varying/variable speed according to claim 1, **characterized** in that the stator winding (30, 49) of the regulating machine is designed as an ac winding for a 3-phase winding, a 2-phase winding, a 2x3-phase winding, or of an optional number of phase windings.

10

15 15. A constant-frequency machine with a varying/variable speed according to claim 1, **characterized** in that the ac-to-ac converter (28, 51) is adapted to operate with varying both input and output frequencies.

15

16. A constant-frequency machine with a varying/variable speed according to claim 1, **characterized** in that the ac-to-ac converter (28, 51) is adapted to operate with a varying ratio between its input and output frequencies.

20

17. A constant-frequency machine with a varying/variable speed according to claim 1, **characterized** in that the ac-to-ac converter (28, 51) is self-commutated.

25 18. A constant-frequency machine with a varying/variable speed according to claim 1, **characterized** in that the ac-to-ac converter (28, 51) is machine-commutated.

30 19. A constant-frequency machine with a varying/variable speed according to claim 1, **characterized** in that the ac-to-ac converter (28, 51) is commutated by the regulating machine.

35 20. A constant-frequency machine with a varying/variable speed according to claim 1, **characterized** in that the ac-to-ac converter (28, 51) is designed as a matrix converter (47).

21. A constant-frequency machine with a varying/variable speed according to claim 1, **characterized** in that the ac-to-ac converter (28, 51) is designed as a direct converter with antiparallel-connected thyristor bridges (50).

5

22. A constant-frequency machine with a varying/variable speed according to claim 1, **characterized** in that series capacitors are connected between the ac-to-ac converter (28, 47, 50, 51) and the rotor windings (29, 48) of the regulating machine.

10

23. A constant-frequency machine with a varying/variable speed according to claim 1, **characterized** in that shunt capacitors are connected between the ac-to-ac converter (28, 47, 50, 51) and the rotor windings (29, 48) of the regulating machine.

15

24. A constant-frequency machine with a varying/variable speed according to claims 1, 21 and 22, **characterized** in that the capacitors are connected in series and/or in parallel with the rotor windings (29, 48) of the regulating machine.

20

25. A constant-frequency machine with a varying/variable speed according to claim 1, **characterized** in that the ac-to-ac converter (28, 51) is designed with an intermediate dc/dc voltage link.

25

26. A constant-frequency machine with a varying/variable speed according to claim 1, **characterized** in that the regulating machine, under controlled starting/braking/stopping is arranged as a starting/braking motor, the stator winding (49) of which is connected to an external frequency converter (53) and the rotor winding (48) of which is short-circuited by the converter of the constant-frequency machine connected as an ac short-circuit coupler (51d).

30

35

27. A constant-frequency machine with a varying/variable speed according to claim 1, **characterized** in that during starting/stopping, the stator winding of the main machine is connected to the power network, the rotor winding of the main machine is connected to the rotor winding of the regulating machine via the converter arranged as an ac polyphase coupler (51b), and the stator winding (49) of the regulating machine is connected to external controllable resistors.

28. A constant-frequency machine with a varying/variable speed according to claim 1, **characterized** in that during controlled starting/braking/stopping, the stator winding of the main machine is connected to the power network, the rotor winding of the main machine is connected to the rotor winding of the regulating machine via the converter arranged as an ac phase-angle/voltage regulator (51c), and the stator winding (49) of the regulating machine is connected to external fixed resistors.

29. A method for using a converter (28, 51), rotating with the shaft, arranged between the rotor windings (3, 29) of a main machine (1) and a regulating machine (27) of a constant-frequency machine, the main machine of which is provided with a stator winding connected to a power network according to claim 1, which method is **characterized** in that

during operation, the converter is controlled as an ac-to-ac converter (51d), and

during starting, the converter is connected as an ac polyphase coupler (51b) or as an ac phase-angle/voltage regulator (51c), or as an ac short-circuit coupler (51d), and



during controlled braking and stopping, the converter is connected as an ac polyphase coupler (51b) or as an ac phase-angle/voltage regulator (51c), or as an ac short-circuit coupler.

5

30. A method for using the converter, rotating with the shaft, according to claim 29 when the constant-frequency machine during operation is used as an electric generator, **characterized** in that the ac-to-ac converter is adapted to supply the rotor windings (3, 21, 46) of the main machine with a voltage with a frequency corresponding to the difference frequency between the synchronous frequency of the electric generator at the actual speed and the nominal frequency of the power network.

15

31. A method for using the converter, rotating with the shaft, according to claim 29 when the constant-frequency machine during operation is used as a motor, **characterized** in that the ac-to-ac converter (51a) is adapted to supply the rotor winding (3, 21, 46) of the main machine with a voltage with a frequency corresponding to the difference frequency between the frequency of the power supply network and the synchronous frequency of the machine at the desired speed.

25

32. A method for using the converter, rotating with the shaft, according to claim 29 during starting and stopping, **characterized** in that the ac polyphase coupler (51b) is adapted for direct connection of the rotor windings of the main machine and the rotor windings of the regulating machine.

30

33. A method for using the converter, rotating with the shaft, according to claim 29 during starting and controlled braking and stopping, **characterized** in that the ac phase-angle/voltage regulator (51c) is adapted for transmitting, in a controlled manner, the rotor losses of the

35

main machine via the regulating machine to external resistors.

34. A method for using the converter, rotating with the  
5 shaft, according to claim 29 during starting/braking  
and/or stopping, **characterized** in that the ac short-  
circuit coupler (51d) is adapted to short-circuit the  
rotor windings of the regulating machine.

10

15

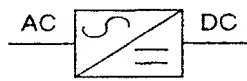


Fig 1a

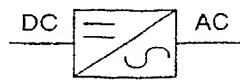


Fig 1b



Fig 1c

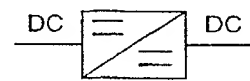


Fig 1d

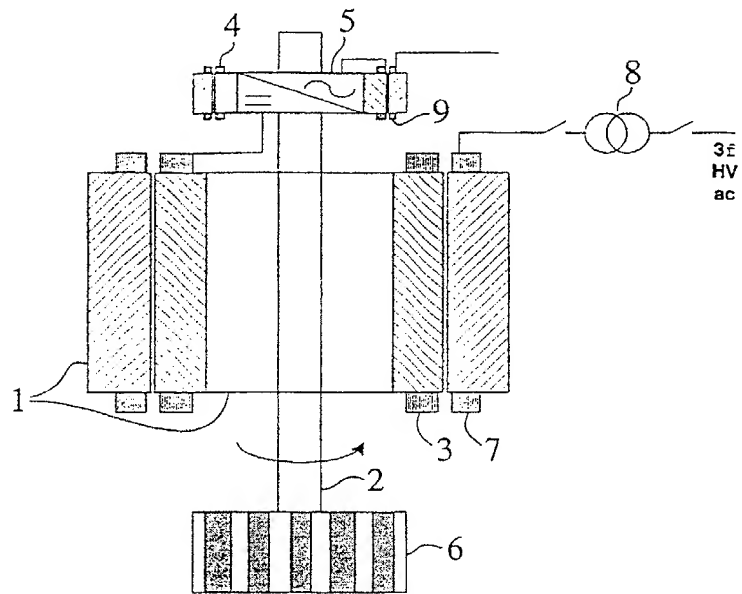


Fig 2

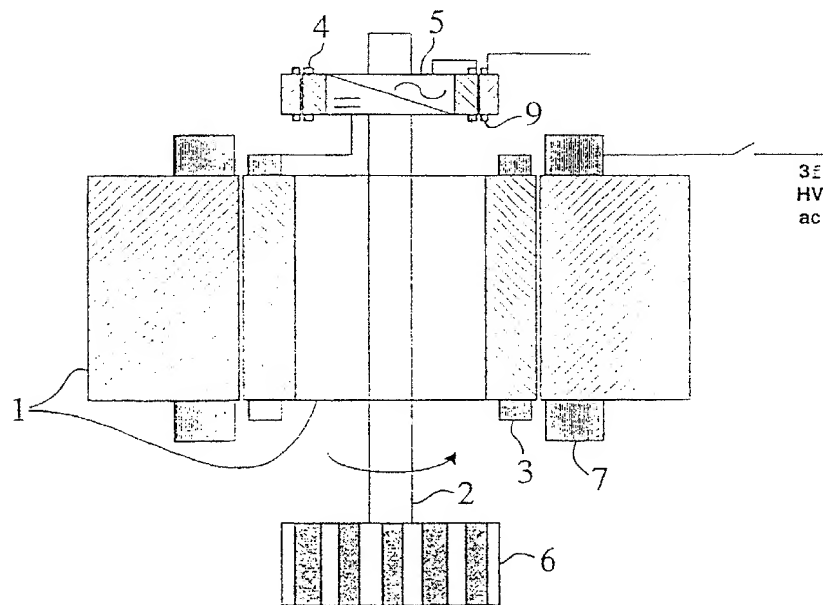


Fig 3

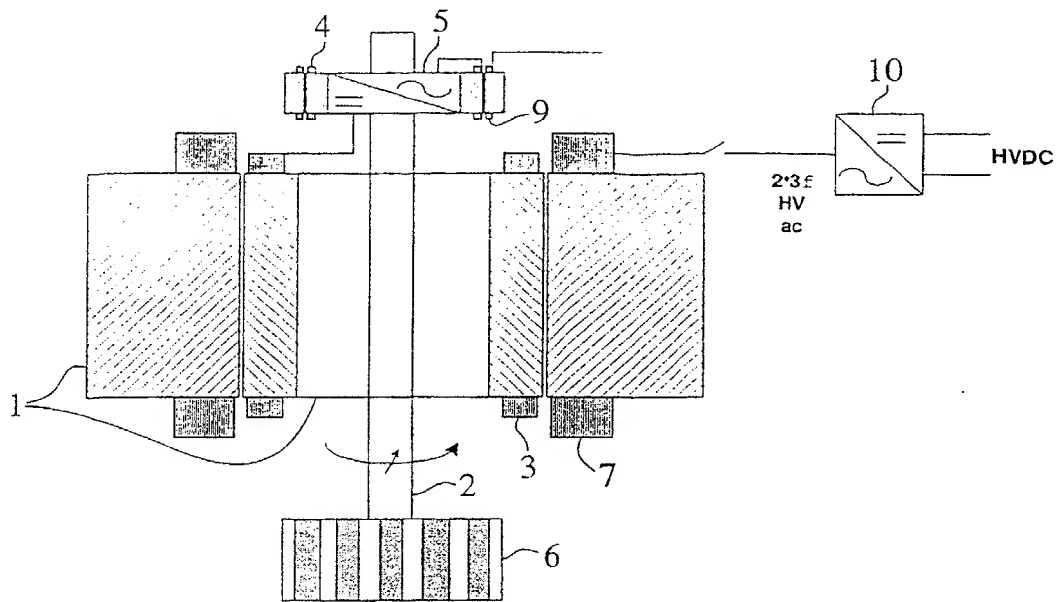


Fig 4

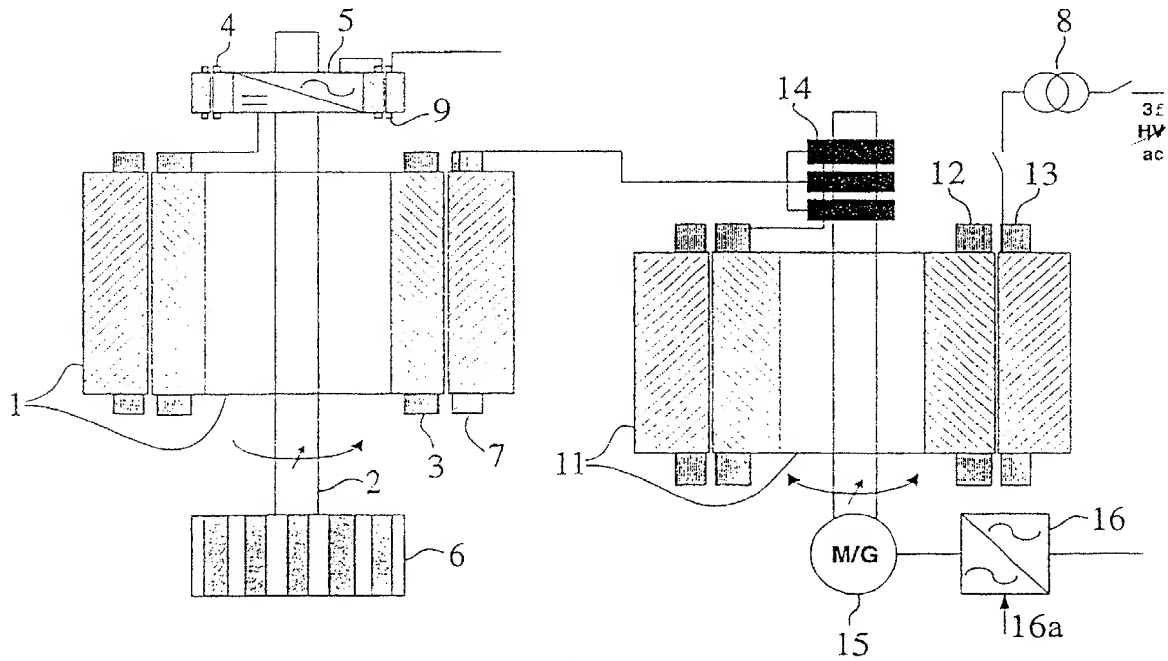


Fig 5

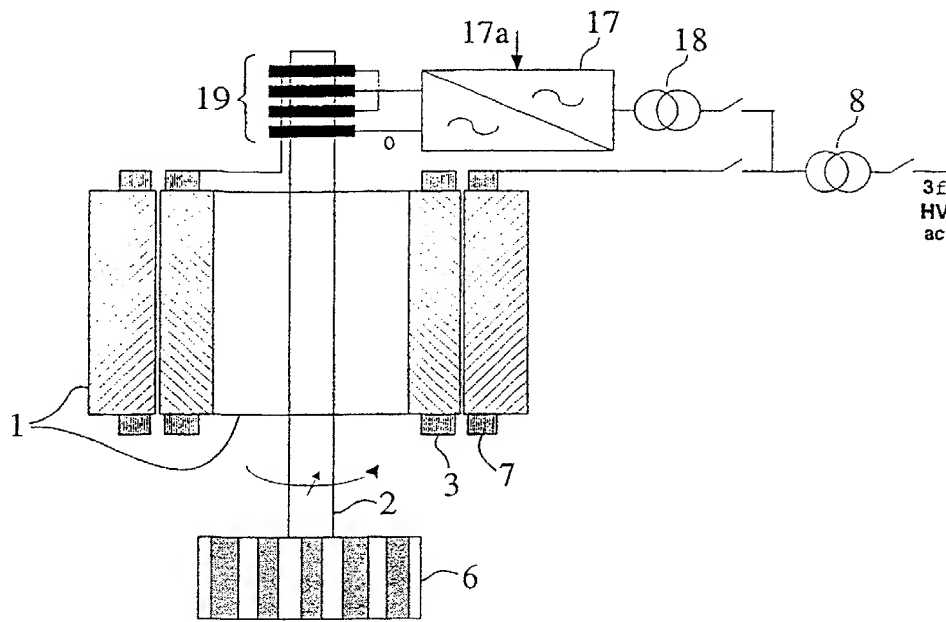


Fig 6

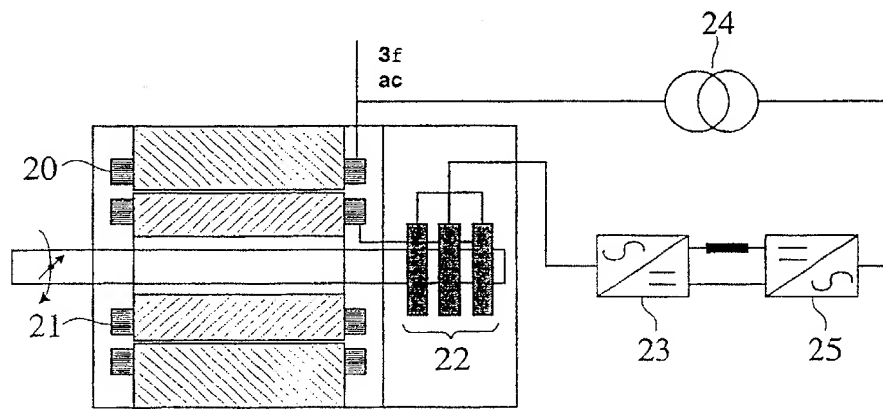


Fig 7

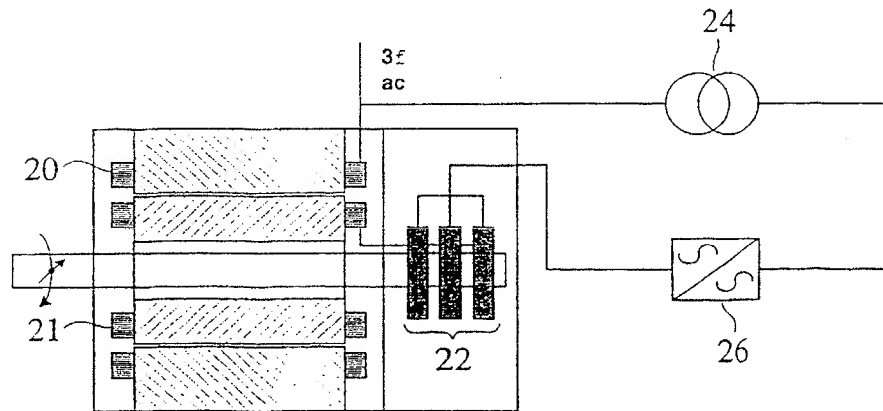


Fig 8

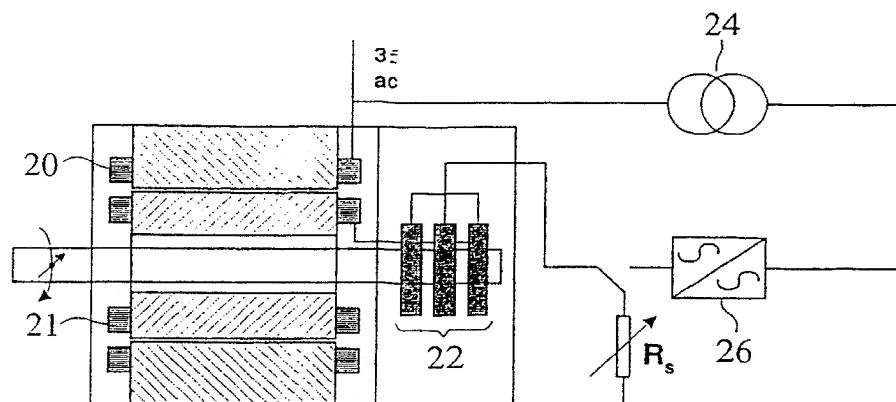


Fig 9

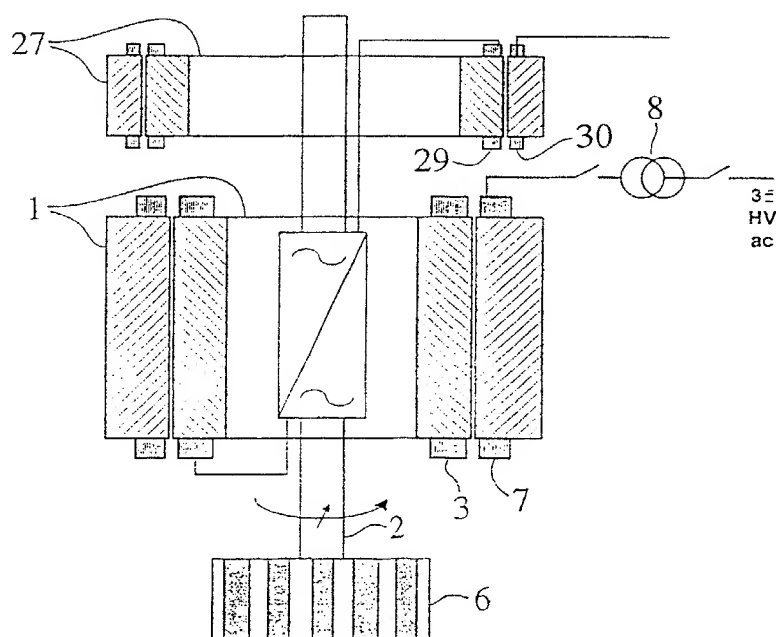


Fig 10

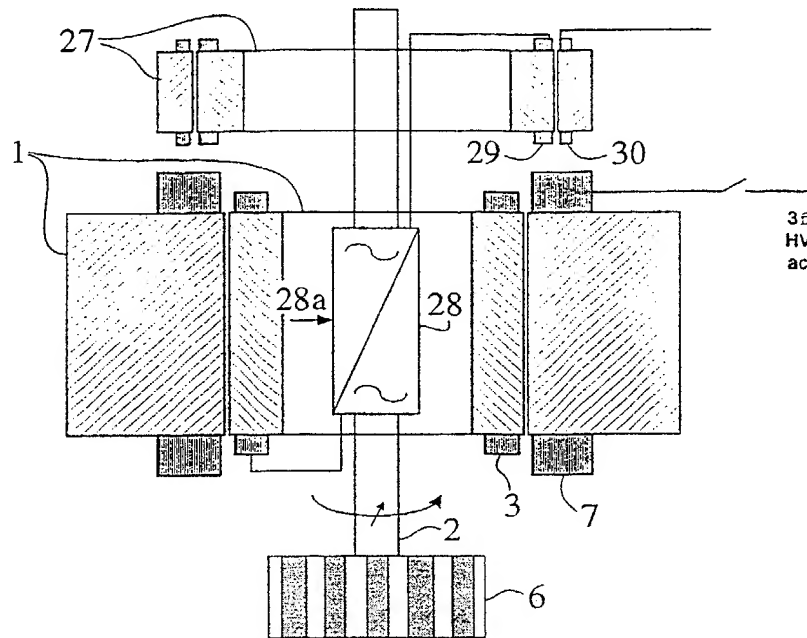


Fig 11a

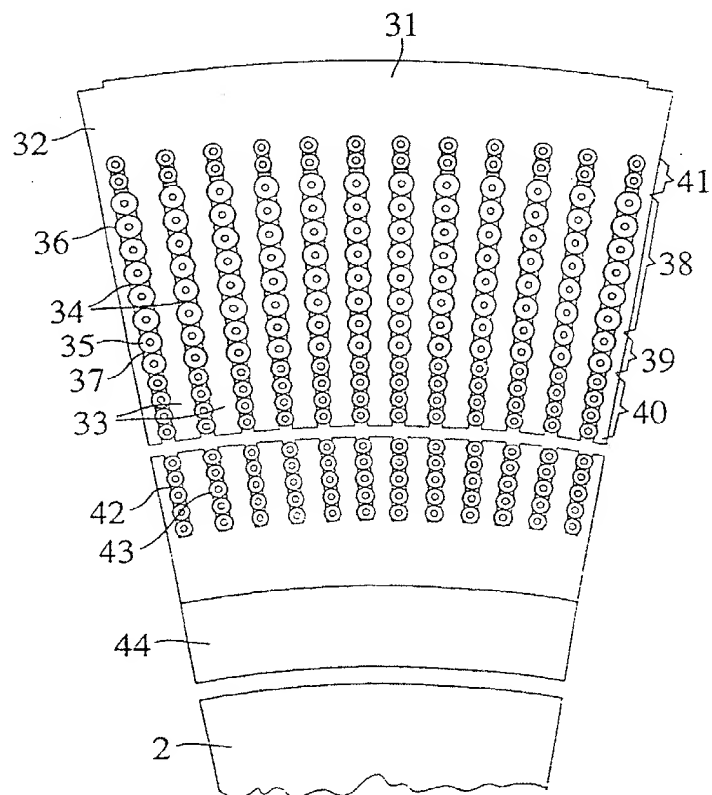


Fig 11b

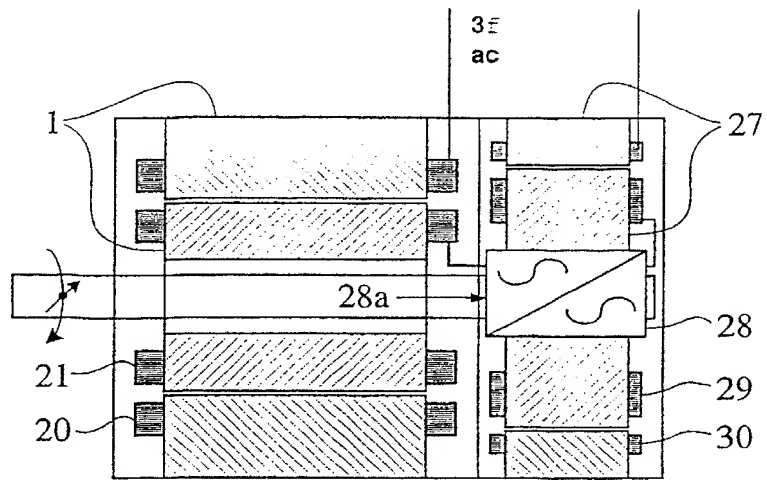


Fig 12

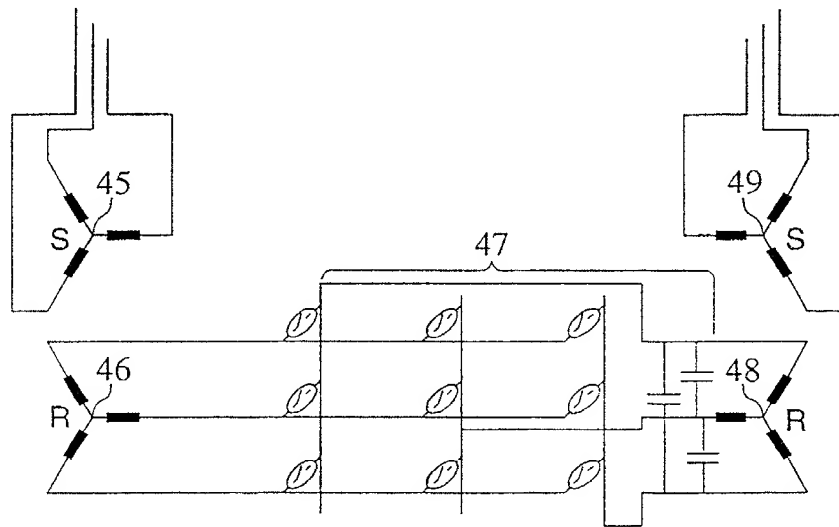


Fig 13



Fig 14a

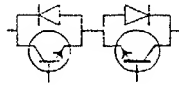


Fig 14b

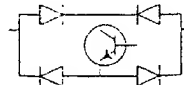


Fig 14c



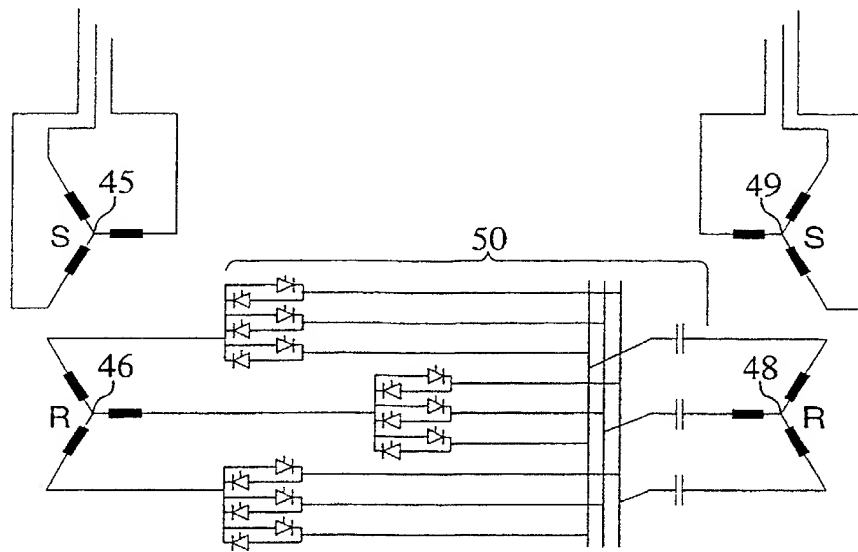


Fig 15

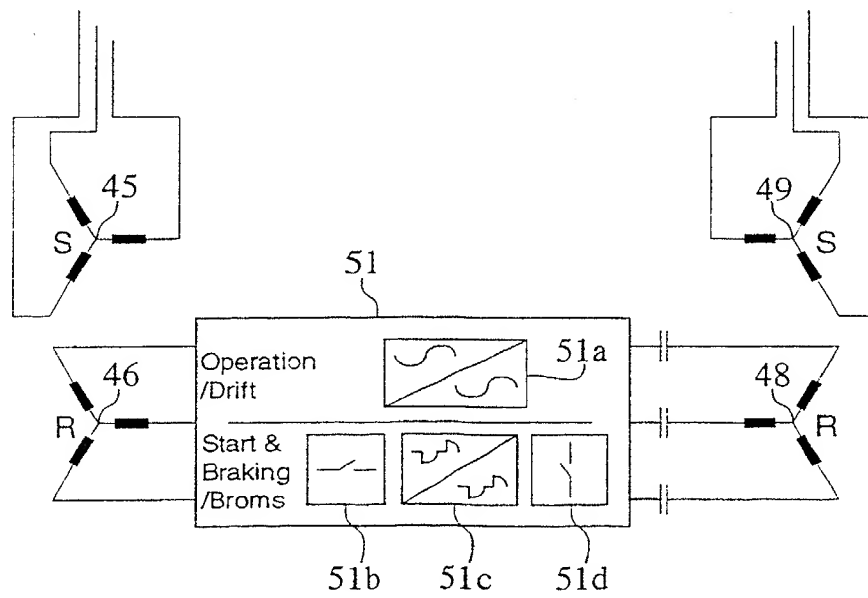


Fig 16

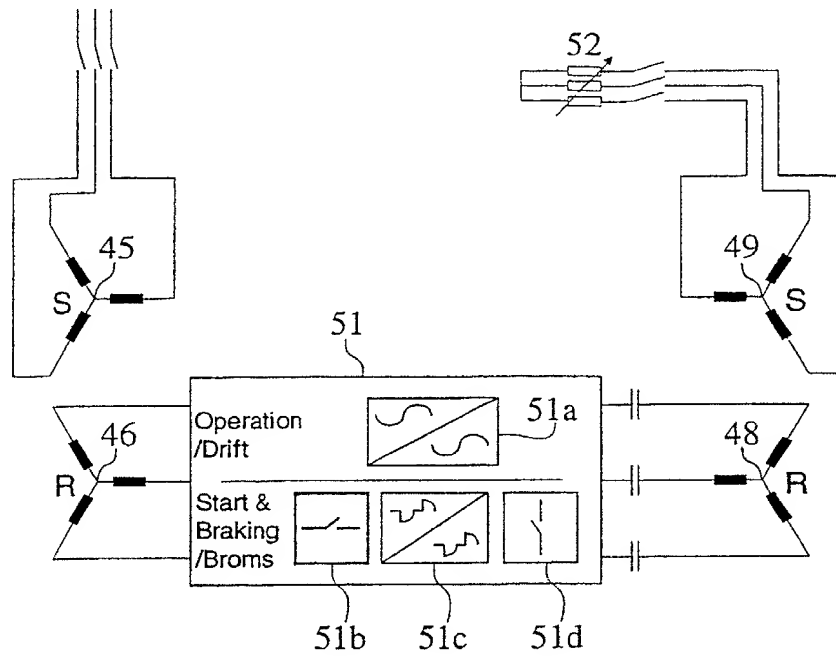


Fig 17

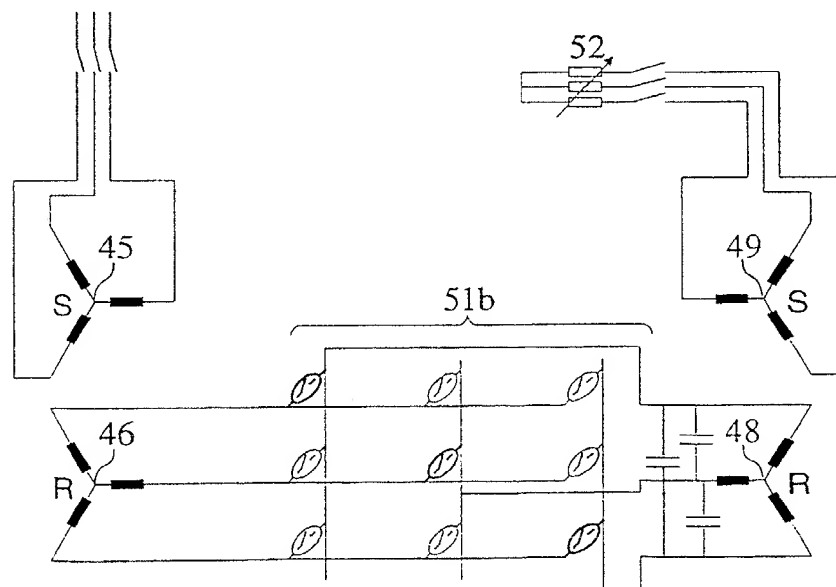


Fig 18

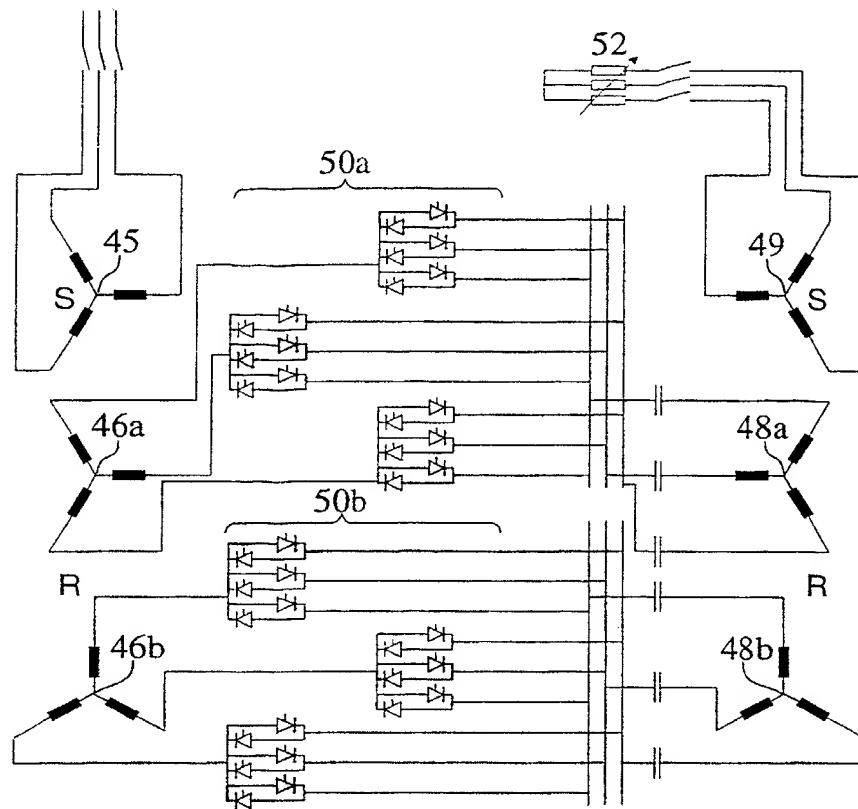


Fig 19

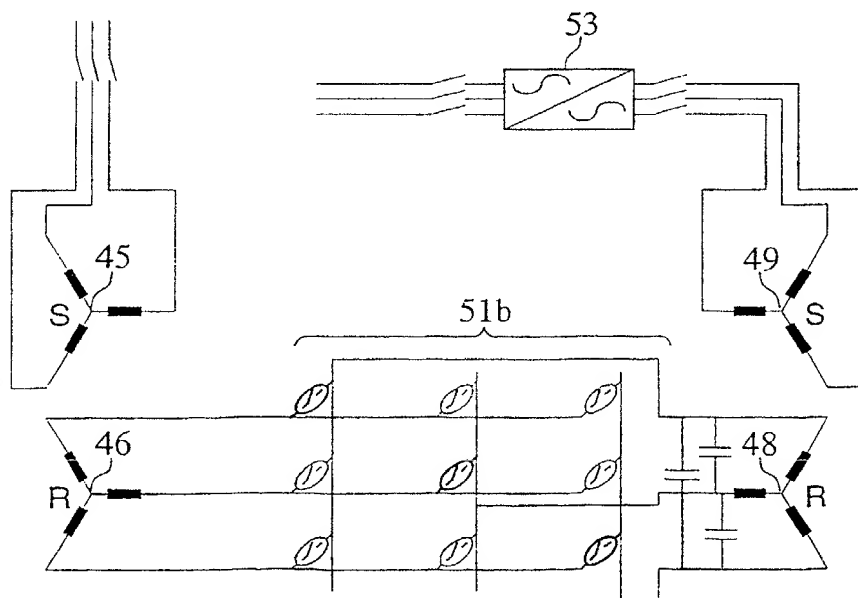


Fig 20

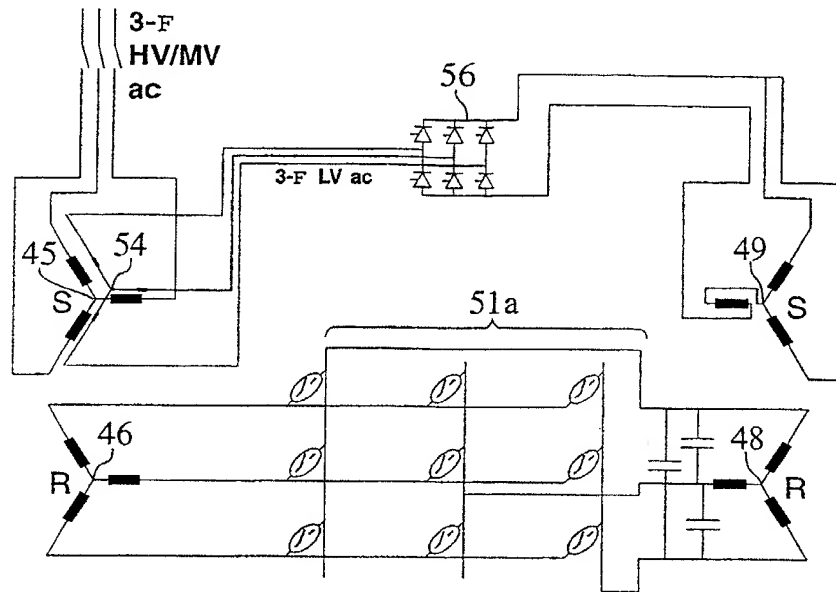


Fig 21

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/SE 00/00724

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC7: H02K 19/38, H02P 9/08

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC7: H02K, H02M, H02P, F01D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

SE,DK,FI,NO classes as above

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 3671850 A (WALTER E. MEHNERT ET AL), 20 June 1972 (20.06.72), column 1, line 39 - column 3, line 25  --	1-34
A	US 4625160 A (DAVID J. HUCKER), 25 November 1986 (25.11.86), column 2, line 24 - column 3, line 5  --	1-34
A	US 5742515 A (MARK A. RUNKLE ET AL), 21 April 1998 (21.04.98), column 2, line 66 - column 3, line 43; column 4, line 47 - line 67  --	1-34

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&amp;" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

Date of mailing of the international search report

10 July 2000

12 -07- 2000

Name and mailing address of the ISA:

Swedish Patent Office

Box 5055, S-102 42 STOCKHOLM

Facsimile No. +46 8 666 02 86

Authorized officer

Antonio Farieta/mj

Telephone No. +46 8 782 25 00

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/SE 00/00724

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC7: H02K 19/38, H02P 9/08

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC7: H02K, H02M, H02P, F01D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

SE,DK,FI,NO classes as above

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 3671850 A (WALTER E. MEHNERT ET AL), 20 June 1972 (20.06.72), column 1, line 39 - column 3, line 25 --	1-34
A	US 4625160 A (DAVID J. HUCKER), 25 November 1986 (25.11.86), column 2, line 24 - column 3, line 5 --	1-34
A	US 5742515 A (MARK A. RUNKLE ET AL), 21 April 1998 (21.04.98), column 2, line 66 - column 3, line 43; column 4, line 47 - line 67 --	1-34

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&amp;" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

10 July 2000

Date of mailing of the international search report

12 -07- 2000

Name and mailing address of the ISA:

Swedish Patent Office

Box 5055, S-102 42 STOCKHOLM

Facsimile No. +46 8 666 02 86

Authorized officer

Antonio Farieta/mj

Telephone No. +46 8 782 25 00

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/SE 00/00724

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 9745919 A2 (ASEA BROWN BOVERI AB), 4 December 1997 (04.12.97), page 9, line 33 - page 17, line 34  -----	1-34

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

02/12/99

International application No.

PCT/SE 00/00724

Patent document cited in search report			Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US	3671850	A	20/06/72	NONE	
US	4625160	A	25/11/86	EP 0207155 A IL 77021 D JP 62501188 T WO 8603907 A	07/01/87 00/00/00 07/05/87 03/07/86
US	5742515	A	21/04/98	BR 9607151 A CA 2174569 A CN 1166867 A EP 0739087 A EP 0800616 A FR 2741116 A FR 2755547 A JP 9019193 A WO 9716627 A CA 2170686 A CA 2174568 A EP 0740387 A EP 0749190 A JP 9023587 A JP 9023651 A US 5841267 A US 5952816 A US 5953225 A WO 9812797 A	11/11/97 22/10/96 03/12/97 23/10/96 15/10/97 16/05/97 07/05/98 17/01/97 09/05/97 22/10/96 22/10/96 30/10/96 18/12/96 21/01/97 21/01/97 24/11/98 14/09/99 14/09/99 26/03/98



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

02/12/99 . PCT/SE 00/00724

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 9745919 A2	04/12/97	AP 9801398 D	00/00/00
		AP 9801404 D	00/00/00
		AP 9801408 D	00/00/00
		AP 9801409 D	00/00/00
		AU 2987397 A	05/01/98
		AU 2987597 A	05/01/98
		AU 2987997 A	05/01/98
		AU 2988097 A	05/01/98
		AU 2988197 A	05/01/98
		AU 2988297 A	05/01/98
		AU 2988397 A	05/01/98
		AU 2988497 A	05/01/98
		AU 2988597 A	05/01/98
		AU 2988697 A	05/01/98
		AU 2988797 A	05/01/98
		AU 2988897 A	05/01/98
		AU 2988997 A	05/01/98
		AU 2989097 A	05/01/98
		AU 2989197 A	05/01/98
		AU 2989297 A	05/01/98
		AU 2989397 A	05/01/98
		AU 2989497 A	05/01/98
		AU 3052197 A	05/01/98
		AU 3052297 A	05/01/98
		AU 3052397 A	05/01/98
		AU 3052597 A	05/01/98
		AU 3052697 A	05/01/98
		AU 3052797 A	05/01/98
		AU 3052897 A	05/01/98
		AU 3052997 A	05/01/98
		AU 3053097 A	05/01/98
		AU 3053197 A	05/01/98
		AU 3053297 A	05/01/98
		AU 3053397 A	05/01/98
		AU 3053497 A	05/01/98
		BG 102926 A	30/06/99
		BG 102944 A	30/07/99
		BG 102964 A	31/05/99
		BG 103009 A	30/06/99
		CA 2255720 A	04/12/97
		CA 2255724 A	04/12/97
		CA 2255725 A	04/12/97
		CA 2255735 A	04/12/97
		CA 2255737 A	04/12/97
		CA 2255738 A	04/12/97
		CA 2255739 A	04/12/97
		CA 2255740 A	04/12/97
		CA 2255744 A	04/12/97
		CA 2255745 A	04/12/97
		CA 2255768 A	04/12/97
		CA 2255769 A	04/12/97
		CA 2255770 A	04/12/97
		CA 2255772 A	04/12/97
		CN 1219911 A	16/06/99
		CN 1220026 A	16/06/99

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
Information on patent family members

02/12/99

International application No.

PCT/SE 00/00724

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 9745919 A2	04/12/97	CN 1220036 A	16/06/99
		CN 1220037 A	16/06/99
		CN 1220039 A	16/06/99
		CN 1220040 A	16/06/99
		CN 1220041 A	16/06/99
		CN 1220042 A	16/06/99
		CN 1220043 A	16/06/99
		CN 1220044 A	16/06/99
		CN 1220045 A	16/06/99
		CN 1220046 A	16/06/99
		CN 1220047 A	16/06/99
		CN 1220048 A	16/06/99
		CN 1220049 A	16/06/99
		CN 1220050 A	16/06/99
		CN 1220051 A	16/06/99
		CN 1225743 A	11/08/99
		CN 1225753 A	11/08/99
		CN 1225755 A	11/08/99
		CN 1226347 A	18/08/99
		CN 1226348 A	18/08/99
		CZ 9803857 A	12/05/99
		CZ 9803858 A	12/05/99
		CZ 9803859 A	16/06/99
		CZ 9803860 A	16/06/99
		CZ 9803868 A	17/02/99
		CZ 9803879 A	17/02/99
		CZ 9803881 A	17/03/99
		CZ 9803882 A	17/02/99
		DE 19781783 T	12/05/99
		DE 19781786 T	30/09/99
		DE 19781791 T	27/05/99
		DE 29780444 U	20/05/99
		DE 29780445 U	26/08/99
		EP 0888627 A	07/01/99
		EP 0888628 A	07/01/99
		EP 0888661 A	07/01/99
		EP 0888662 A	07/01/99
		EP 0889797 A	13/01/99
		EP 0901700 A	17/03/99
		EP 0901701 A	17/03/99
		EP 0901702 A	17/03/99
		EP 0901703 A	17/03/99
		EP 0901704 A	17/03/99
		EP 0901705 A	17/03/99
		EP 0901706 A	17/03/99
		EP 0901709 A	17/03/99
		EP 0901711 A	17/03/99
		EP 0903002 A	24/03/99
		EP 0906651 A	07/04/99
		EP 0910885 A	28/04/99
		EP 0910886 A	28/04/99
		NO 985499 A	25/11/98
		NO 985524 A	26/11/98
		NO 985552 A	27/11/98
		NO 985553 A	27/11/98

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

02/12/99

International application No.

PCT/SE 00/00724

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 9745919 A2	04/12/97	NO 985554 A	27/11/98
		NO 985555 A	27/11/98
		NO 985580 A	28/01/99
		NO 985581 A	28/01/99
		NO 985582 A	28/01/99
		NO 985583 A	28/01/99
		PL 330193 A	26/04/99
		PL 330194 A	26/04/99
		PL 330197 A	26/04/99
		PL 330198 A	26/04/99
		PL 330199 A	26/04/99
		PL 330200 A	26/04/99
		PL 330202 A	26/04/99
		PL 330215 A	10/05/99
		PL 330216 A	10/05/99
		PL 330217 A	10/05/99
		PL 330218 A	10/05/99
		PL 330225 A	10/05/99
		PL 330226 A	10/05/99
		PL 330234 A	10/05/99
		PL 330288 A	10/05/99
		PL 330289 A	10/05/99
		PL 330800 A	07/06/99
		SE 9602079 D	00/00/00
		SE 9804078 A	26/11/98
		SE 9804084 A	27/11/98
		SE 9804085 A	27/11/98
		SE 9804134 A	30/11/98
		WO 9745288 A	04/12/97
		WO 9745847 A	04/12/97
		WO 9745848 A	04/12/97
		WO 9745907 A	04/12/97
		WO 9745912 A	04/12/97
		WO 9745914 A	04/12/97
		WO 9745915 A	04/12/97
		WO 9745916 A	04/12/97
		WO 9745918 A	04/12/97
		WO 9745920 A	04/12/97
		WO 9745921 A	04/12/97
		WO 9745922 A	04/12/97
		WO 9745923 A	04/12/97
		WO 9745924 A	04/12/97
		WO 9745925 A	04/12/97
		WO 9745926 A	04/12/97
		WO 9745927 A	04/12/97
		WO 9745928 A	04/12/97
		WO 9745929 A	04/12/97
		WO 9745930 A	04/12/97
		WO 9745931 A	04/12/97
		WO 9745932 A	04/12/97
		WO 9745933 A	04/12/97
		WO 9745934 A	04/12/97
		WO 9745935 A	04/12/97
		WO 9745936 A	04/12/97
		WO 9745937 A	04/12/97

INTERNATIONAL SEARCH REPORT  
Information on patent family members

International application No.

02/12/99 . PCT/SE 00/00724

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 9745919 A2	04/12/97	WO 9745938 A	04/12/97
		WO 9745939 A	04/12/97
		WO 9747067 A	11/12/97
		ZA 9704717 A	04/09/98
		ZA 9704718 A	04/09/98
		ZA 9704722 A	04/09/98
		ZA 9704723 A	04/09/98
		ZA 9704724 A	04/09/98
		ZA 9704725 A	04/09/98
		ZA 9704727 A	04/09/98
		ZA 9704728 A	04/09/98

---

2000-11-17  
PCT

From the INTERNATIONAL BUREAU

141

**NOTICE INFORMING THE APPLICANT OF THE  
COMMUNICATION OF THE INTERNATIONAL  
APPLICATION TO THE DESIGNATED OFFICES**

(PCT Rule 47.1(c), first sentence)

To:

LARSON, Håkan  
ABB AB  
Patentsbergsgatan 2  
Gideonsbergsgatan 2  
Tegnérrområdet  
S-721 78 Västerås  
SUÈDE

Date of mailing (day/month/year) 09 November 2000 (09.11.00)		
Applicant's or agent's file reference KN8631WO		<b>IMPORTANT NOTICE</b>
International application No. PCT/SE00/00724	International filing date (day/month/year) 17 April 2000 (17.04.00)	
Priority date (day/month/year) 30 April 1999 (30.04.99)		
Applicant ABB AB et al		

1. Notice is hereby given that the International Bureau has communicated, as provided in Article 20, the international application to the following designated Offices on the date indicated above as the date of mailing of this Notice:  
AG,AU,DZ,KP,KR,US

In accordance with Rule 47.1(c), third sentence, those Offices will accept the present Notice as conclusive evidence that the communication of the international application has duly taken place on the date of mailing indicated above and no copy of the international application is required to be furnished by the applicant to the designated Office(s).

2. The following designated Offices have waived the requirement for such a communication at this time:

AE,AL,AM,AP,AT,AZ,BA,BB,BG,BR,BY,CA,CH,CN,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,EA,EE,EP,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,HR,HU,ID,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KZ,LC,LK,LR,LS,LT,LU,LV,MA,MD,MG,MK,MN,MW,MX,NO,NZ,OA,PL,PT,RO,RU,SD,SE,SG,SI,SK,SL,TJ,TM,TR,TT,TZ,UA,UG,UZ,VN,YU,ZA,ZW

The communication will be made to those Offices only upon their request. Furthermore, those Offices do not require the applicant to furnish a copy of the international application (Rule 49.1(a-bis)).

3. Enclosed with this Notice is a copy of the international application as published by the International Bureau on 09 November 2000 (09.11.00) under No. WO 00/67363

**REMINDER REGARDING CHAPTER II (Article 31(2)(a) and Rule 54.2)**

If the applicant wishes to postpone entry into the national phase until 30 months (or later in some Offices) from the priority date, a **demand for international preliminary examination** must be filed with the competent International Preliminary Examining Authority before the expiration of 19 months from the priority date.

It is the applicant's sole responsibility to monitor the 19-month time limit.

Note that only an applicant who is a national or resident of a PCT Contracting State which is bound by Chapter II has the right to file a demand for international preliminary examination.

**REMINDER REGARDING ENTRY INTO THE NATIONAL PHASE (Article 22 or 39(1))**

If the applicant wishes to proceed with the international application in the **national phase**, he must, within 20 months or 30 months, or later in some Offices, perform the acts referred to therein before each designated or elected Office.

For further important information on the time limits and acts to be performed for entering the national phase, see the Annex to Form PCT/IB/301 (Notification of Receipt of Record Copy) and Volume II of the PCT Applicant's Guide.

The International Bureau of WIPO 34, chemin des Colombettes 1211 Geneva 20, Switzerland	Authorized officer  J. Zahra
Facsimile No. (41-22) 740.14.35	Telephone No. (41-22) 338.83.38